



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

“Análisis termoeconómico para optimizar el consumo de combustible de un motor
diésel en la ciudad de Chiclayo”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Br. Luis Alberto Soto Chicoma (ORCID: 0000-0001-6251-3870)

ASESOR:

Msc. James Skinner Celada Padilla (ORCID: 0000-0002-5901-2669)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y simulación de sistemas electromecánicos

CHICLAYO - PERÚ

2019

Dedicatoria

A mis queridos padres quienes son la razón e inspiración para culminar esta investigación. A Dios en quien confío, ya que gracias a Él he logrado concluir satisfactoriamente mi Carrera Universitaria.

Luis Alberto Soto Chicoma

Agradecimiento

Agradezco especialmente a los asesores el Ing. James Skinner Celada Padilla y al Ing. Enrique Díaz Rubio, quienes fueron mis mentores a lo largo de esta investigación, a los mismos que con su conocimiento, paciencia y guía, hicieron de mí una persona constante y perseverante; logrando así concluir con éxito mi meta trazada.

Luis Alberto Soto Chicoma

Página del jurado

Declaratoria de autenticidad

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

YO LUIS ALBERTO SOTO CHICOMA con DNI 44685795 en la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la universidad CÉSAR VALLEJO, con el trabajo de investigación titulada “ ANÁLISIS TERMOECONÓMICO PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE UN MOTOR DIÉSEL EN LA CIUDAD DE CHICLAYO ”

Declaro bajo juramento que:

- 1) El trabajo de investigación es mi autoría propia.
- 2) Se ha respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes utilizadas. Por lo tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado ni total ni parcialmente.
- 3) El trabajo de investigación no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
- 4) Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por lo tanto los resultados que se presentan en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De identificarse la falta de fraude (datos falsos), plagio (información sin citar autores), autoplagio (presentar como nuevo algún trabajo de investigación propio que ya ha sido publicado), piratería (uso ilegal de información ajena) o falsificación (representar falsamente las ideas de otro), asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normalidad vigente de la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 12 de febrero del 2020

Nombres y Apellidos: Luis Alberto Soto Chicoma
DNI: 4468595


Firma

Índice

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Página del jurado	iv
Declaratoria de autenticidad	v
Índice	vi
Índice de Figuras	vii
Índice de Tablas.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MÉTODO.....	15
2.1. Diseño de investigación.....	15
2.2. Variables, operacionalización.....	15
2.3. Población y muestra	17
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
2.5. Métodos de análisis de datos	17
2.6. Aspectos éticos.	17
III. RESULTADOS.....	18
3.1. Realizar mediciones en el motor diésel, en función a los parámetros de funcionamiento, para determinar los consumos específicos de combustible.	18
3.2. Realizar un balance exergético en el motor Diesel, en donde se incluya la limitación que exige la segunda ley de la termodinámica.	24
3.3. Hacer una evaluación termoeconómica, donde incluya la relación directa entre el costo energético y el óptimo ingreso de combustible al motor Diesel.	54
3.4. Realizar mediciones de los gases de escape a diferentes regímenes de giro del moto.....	62
IV. DISCUSIÓN.....	90
V. CONCLUSIONES	91
VI. RECOMENDACIONES	92
REFERENCIAS	93
ANEXOS	94
Acta de aprobación de originalidad de tesis	95
Reporte de turnitín.....	96
Autorización de publicación de tesis en repositorio institucional ucv	97
Autorización de la versión final del trabajo de investigación	98

Índice de Figuras

Figura 1: Evolución de la eficiencia de los motores diésel.	2
Figura 2: Consumo Total de combustible en un día en Barriles.	5
Figura 3: Consumos específicos de los automóviles más vendidos en el 2014.	5
Figura 4: Consumo de Gasolina en el Perú, 2013.	7
Figura 5: Antigüedad del parque automotor de Lima.	9
Figura 6: Antigüedad del parque automotor de Lima.	9
Figura 7: Curva de consumo de combustible en motor de gasolina.....	12
Figura 8: Consumo específico de combustible.	12
Figura 9: Consumo específico en función a la potencia.....	13
Figura 10: Consumo específico de combustible (S/ / Km)	21
Figura 11: Prueba de compresión por cada cilindro del vehículo N°1	23
Figura 12: Prueba de compresión por cada cilindro del vehículo N°2	23
Figura 13: Prueba de compresión por cada cilindro del vehículo N°3	23
Figura 14: Volumen de control	24
Figura 15: Representación en % por cada tipo de energía producida por el motor del vehículo N°1	25
Figura 16: Representación en % por cada tipo de energía producida por el motor del vehículo N°2	26
Figura 17: Representación en % por cada tipo de energía producida por el motor del vehículo N°3	26
Figura 18: Variación de potencia mecánica en función a RPM.	32
Figura 19: Presión media efectiva (Kpa), en función a RPM de motor.	32
Figura 20: Variación de potencia mecánica en función a RPM.	37
Figura 21: Presión media efectiva (Kpa), en función a RPM de motor.	37
Figura 22: Variación de potencia mecánica en función a RPM.	42
Figura 23: Presión media efectiva (Kpa), en función a RPM de motor.	42
Figura 24: Variación de potencia mecánica en función a RPM.	47
Figura 25: Presión media efectiva (Kpa), en función a RPM de motor	47
Figura 26: Presión media efectiva (Kpa), en función a RPM de motor.	53
Figura 27: Presión media efectiva (Kpa), en función a RPM de motor.	53
Figura 28: Mediciones a realizar en Motor Diésel de Prueba.	54
Figura 29: Presión en el interior del cilindro en función al ángulo de giro del cigüeñal. ..	56
Figura 30: Cantidad de calor liberado dentro del cilindro.	57
Figura 31: Emisiones de co ₂ +co (%) en función de las rpm del vehículo de Prueba N°1	69
Figura 32: Emisiones de HC (ppm) en función rpm del vehículo de Prueba N° 1	69
Figura 33: emisiones de co (%) en funcion de las rpm del vehículo de Prueba N° 1	70

Figura 34: Emisiones de $\text{CO}_2 + \text{CO}$ (%) en función de las rpm del vehículo de Prueba N°2	75
Figura 35: Emisiones de HC (ppm) en función rpm del vehículo de Prueba N° 2	75
Figura 36: emisiones de CO (%) en funcion de las rpm del vehículo de Prueba N° 2	75
Figura 37: Emisiones de $\text{CO}_2 + \text{CO}$ (%) en función de las rpm del vehículo de Prueba N°3	82
Figura 38: Emisiones de HC (ppm) en función RPM del vehículo de Prueba N° 3	82
Figura 39: Emisiones de CO (%) en funcion de las rpm del vehículo de Prueba N° 3	82
Figura 40: Emisiones de $\text{CO}_2 + \text{CO}$ % en función de las rpm del vehículo de Prueba N°4 ...	89
Figura 41: Emisiones de HC (ppm) en función rpm del vehículo de Prueba N° 4	89
Figura 42: Emisiones de CO (%) en funcion de las rpm del vehículo de Prueba N° 4	89

Índice de Tablas

Tabla 1: Evolución de la eficiencia de motores diésel	1
Tabla 2: Consumo de combustible en barriles por día año 2013.	4
Tabla 3: Antigüedad de los vehículos en las principales ciudades del País.	8
Tabla 4: Pruebas de consumo de Biodiesel a 3 diferentes vehículos de 1600 cc	20
Tabla 5: Pruebas de consumo de Biodiesel a 3 diferentes vehículos de 1600 cc	22
Tabla 6: Porcentaje de cada tipo de energía en motor Diésel.....	25
Tabla 7: Mediciones de Variables mecánica del motor de prueba 1.....	28
Tabla 8: Mediciones de Variables mecánica del motor de prueba 2.....	33
Tabla 9: Mediciones de Variables mecánica del motor de prueba 3.....	38
Tabla 10: Mediciones de Variables mecánica del motor de prueba 4.....	43
Tabla 11: Mediciones de Variables mecánica del motor de prueba 5.....	48
Tabla 12: Ficha Técnica Motor Diésel de Prueba	55
Tabla 13: Vehículo de Prueba N° 1.....	63
Tabla 14: Vehículo de Prueba N°2.....	70
Tabla 15: Vehículo de Prueba N° 3.....	76
Tabla 16: Vehículo de prueba N° 4.	83

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, denominado “ANÁLISIS TERMoeCONÓMICO PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN UN MOTOR DIÉSEL EN LA CIUDAD DE CHICLAYO”, relaciona la combinación lineal de las dos leyes de la termodinámica, con la economía; es decir tiene como finalidad identificar las zonas dentro del motor, en la cual es posible incrementar la eficiencia global del motor diesel.

Con la primera ley de la termodinámica, es posible realizar balances de energía y de masa, para finalmente determinar la eficiencia térmica, sin embargo con la segunda ley de la termodinámica, se evalúa la degradación de la energía al momento de realizarse la conversión. Un análisis exergético proporciona una medida cuantitativa de la calidad de las diferentes formas de energía.

Actualmente, en los procesos de instalaciones tanto para generar energía como en plantas transformadoras de materia prima, se emplea los motores diesel, así como también en las unidades de transporte de carga, como también en la maquinaria pesada para extracción de tierra, como en máquinas diseñadas específicamente para el sector minero. La terminología de calidad de la energía térmica se sustenta en la temperatura a la cual ésta se encuentra disponible, es decir si se tiene mayor temperatura, mayor es la eficiencia para convertir la energía térmica a trabajo.

El análisis exergético, es un método que aproxima a la realidad, la degradación de la energía, lo cual permitirá identificar, cuantificar y aprovechar la energía no utilizable.

Palabras claves: Análisis termoeconómico, optimizar, consumo de combustible, de un motor diésel.

ABSTRACT

The present research, called "THERMOECONOMIC ANALYSIS TO OPTIMIZE FUEL CONSUMPTION IN A DIESEL ENGINE IN THE CITY OF CHICLAYO", relates the linear combination of the two laws of thermodynamics with the economy; That is to identify the areas within the engine, in which it is possible to increase the overall efficiency of the diesel engine.

With the first law of thermodynamics, it is possible to carry out energy and mass balances, in order to finally determine the thermal efficiency, however with the second law of thermodynamics, energy degradation is evaluated at the time of the conversion. An exergetic analysis provides a quantitative measure of the quality of different forms of energy.

Currently, in the processes of installations for both energy generation and raw material processing plants, diesel engines are used, as well as in cargo transport units, as well as in heavy machinery for extraction of earth, as in machines Designed specifically for the mining sector. The terminology of quality of the thermal energy is based on the temperature at which it is available, ie if you have a higher temperature, the greater the efficiency to convert the thermal energy to work.

Exergetic analysis is a method that approximates reality, the degradation of energy, which will identify, quantify and take advantage of unusable energy.

Keywords: Thermoeconomic analysis, optimize, fuel consumption, of a diesel engine.

I. INTRODUCCIÓN

Los motores diésel son máquinas de combustión interna con valores de eficiencia que no superan el 30%, el 70% de la energía no se convierte en energía mecánica para el accionamiento del vehículo, sino se convierte en forma de calor, tanto en el agua de refrigeración como en el calor de los gases de escape. (Fuentes, 2016, p.4).

La energía química que contiene el combustible no todo se convierte en energía mecánica, el agua de refrigeración absorbe aproximadamente el 30% del calor, de no hacerlo el monoblock del motor tendría a deformarse, lo cual haría que el motor no funcione, el otro 30% de la energía calorífica de la combustión se encuentra en los gases de escape, los cual tienen un temperatura elevada con respecto a la temperatura del medio ambiente; un 10% de la energía lo utilizan los accesorios del motor, como son la bomba de inyección, la bomba de agua, servomotor, entre otros. (Fuentes, 2016, p.4).

“En el mundo, específicamente en América del Sur, el estudio acerca del mal manejo de las unidades vehiculares por lo tanto el consumo de combustible es mayor a los que realmente es el consumo a condiciones normales de funcionamiento, ésta realidad lamentablemente aún no logra ser superada debido a factores de reglamentación, de educación vial, normas de conductas, entre otros”. (Fuentes, 2016, p.4).

Los vehículos livianos con motores diesel, han incrementado su valor de eficiencia termodinámica, debido al tipo de material que utiliza el motor, la forma de la combustión y la inyección electrónica que utiliza. (Bosch, 2015, p.3)

Tabla 1: Evolución de la eficiencia de motores diésel

Año	Eficiencia de Motores Diésel en Vehículos %				
	2012	2013	2014	2015	2016
En vehículos Livianos	24	24	27	27	28
En vehículos Pesados	22	22	24	25	26

Fuente: Bosch, 2015

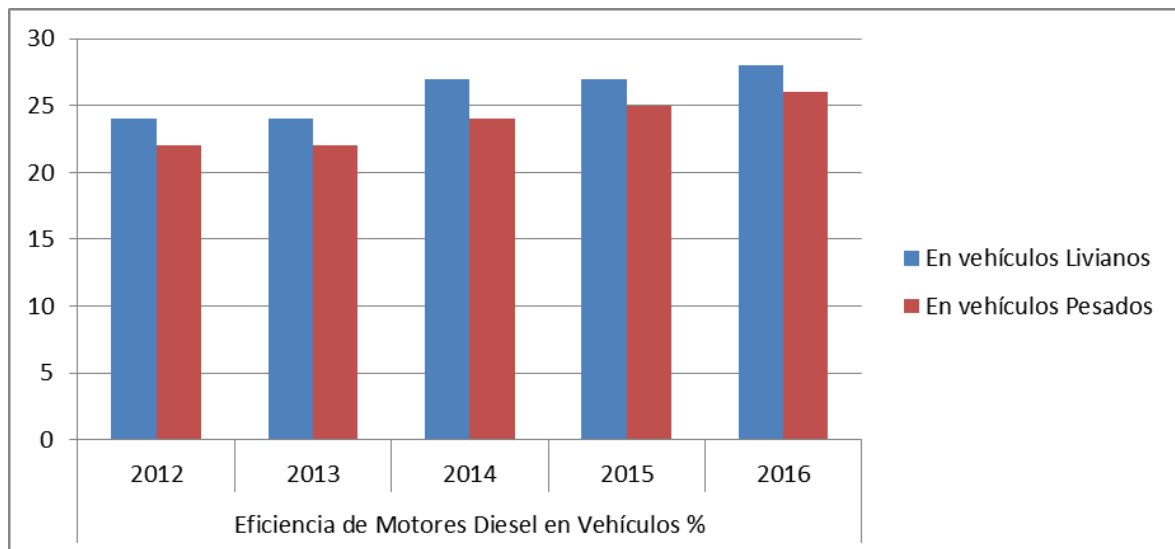


Figura 1: Evolución de la eficiencia de los motores diésel.

“En la ciudad de México, uno de los factores decididos a la hora de la compra de las unidades vehiculares, debido al intenso tránsito que existe en la ciudad, con lo cual es notable la diferencia entre consumo específico de combustible en ciudad que en carretera”(Sánchez, 2014, p.1).

Los usuarios de los vehículos evalúan no solamente los costos de consumo de combustible, sino también los costos de mantenimientos de las unidades, al momento de adquirir un vehículo nuevo; los precios de las unidades están en función a el lugar en donde se adquieren la tecnología que utilizan, así como también las emisiones de los gases de escape. Se prevé que para los próximos 20 años, se tenga el boom de los vehículos híbridos y de los vehículos eléctricos, los cuales tendrán un menor consumo específico de combustible, aunque los costos de adquisición de la unidad sean aún elevada, si es comparada con el precio de un vehículo convencional. (Sánchez, 2014, p.1)

En cuanto a los consumos específicos de combustibles, de los vehículos modernos, éstos han ido incrementando de valor, a una tasa de crecimiento de 3.5% cada año, en los años 2008 al 2011, es decir de tener un rendimiento de 11.8 Km por cada litro consumido hasta un valor de 13.09 Kilómetros por litro. Esta realidad en cuanto a consumos, es una de los aspectos que determinan el tipo de vehículo a adquirir. (Medina, 2012, p.4)

En Madrid, una ciudad con un parque automotriz renovado, en donde se aplican las normas EURO 6 en cuanto a valores de emisiones de gases, se tiene un medidor de consumo específico de combustible denominado PEMS, que se instala en el vehículo. (ONG Transport & Environment, 2016, p.2)

“En la ciudad de Cali, Colombia, los vehículos que ingresan cada año al parque automotor, vienen equipados en su computador un dispositivo que indica, en función a factores diversos, cual es el consumo en promedio, éste se basa en un medidor de caudal, el cual se instala en la llegada del circuito de alimentación de combustible del motor” (Carroya, 2013, p.4).

“En Brasil, el consumo de combustible creció en los últimos años desde un seis por ciento en el año 2012, con respecto al 2013. Con un consumo anual de 129,6 billones de litros de combustible, valor que tiene impacto en la economía del país más grande de Sudamérica y quinto en el mundo” (Agencia Nacional del Petróleo, 2013, p, 39).

Se tiene reportes a nivel mundial del promedio de consumos de combustibles en los parques automotrices de cada país, y dentro de los países más desarrollados, los Estados Unidos, son los que tienen mayor consumo con cerca de 20 billones de barriles de combustible al día, Japón, India, Arabia Saudí, Alemania, Canadá, Rusia, Corea del Sur y México.

Tabla 2: Consumo de combustible en barriles por día año 2013.

País	Consumo Total de combustible en un día en barriles						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
EEUU	17560397	17648640	18384000	19150000	19188300	19226676.6	19265130
China	8619725	8663040	9024000	9400000	9418800	9437637.6	9456512.88
Japón	4082448	4102963	4273920	4452000	4460904	4478747.62	4496662.61
India	2917869	2932531	3054720	3182000	3188364	3194740.73	3201130.21
Arabia Saudí	2423610	2435789	2537280	2643000	2648286	2650934.29	2656236.15
Alemania	2287895	2299392	2395200	2495000	2569850	2646945.5	2726353.87
Canadá	2025635	2035814	2120640	2209000	2213418	2215631.42	2220062.68
Rusia	2016465	2026598	2111040	2199000	2203398	2207804.8	2212220.41
Corea del Sur	2012797	2022912	2107200	2195000	2216950	2239119.5	2261510.7
México	1900924	1910477	1990080	2073000	2077146	2097917.46	2118896.63

Fuente: Organización de Países Exportadores de Petróleo

En la tabla 2, se muestra la tendencia en el año 2017, en porcentaje de consumo de combustible de los principales consumidores, y se ve el efecto que tiene EEUU como un gran consumidor de combustible.

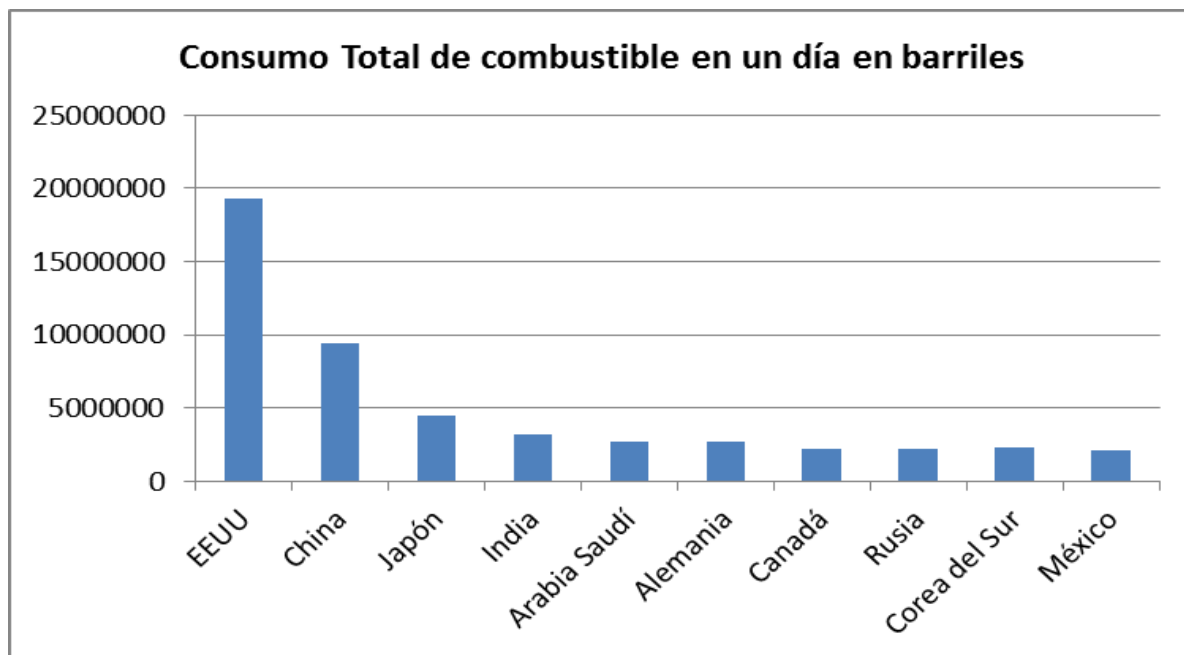


Figura 2: Consumo Total de combustible en un día en Barriles.

Gastadores vs Ahorradores

► Precio y gasto de combustible en pesos
Consumo gasolina

El consumo de gasolina de un automóvil es la variable que más incide en la decisión de compra de los consumidores.

	Mazda 6	Ciudad	7.5 km/litro		Ciudad	16.0 km/litro
		Carretera	11.4 km/litro		Carretera	21.4 km/litro
		Combinado	8.9 km/litro		Combinado	18.0 km/litro
		Motor	3.7L 6cil		Motor	1.25L 4 cil
		Gasto combustible	27,600		Gasto combustible	10,700
		Precio	Desde 314,000		Precio	Desde 131,900
	Dodge Dart SXT	Ciudad	8.1 km/litro		Ciudad	17.7 km/litro
		Carretera	14.6 km/litro		Carretera	24.8 km/litro
		Combinado	10.2 km/litro		Combinado	20.4 km/litro
		Motor	2.4L		Motor	1.2L 4cil
		Gasto combustible	25,400		Gasto combustible	11,700
		Precio	Desde 277,900		Precio	Desde 123,000
	Dodge Avenger	Ciudad	10.3 km/litro		Ciudad	17.4 km/litro
		Carretera	16.0 km/litro		Carretera	20.4 km/litro
		Combinado	12.2 km/litro		Combinado	18.1 km/litro
		Motor	2.4L 4cil		Motor	1.5L 4cil
		Gasto combustible	24,800		Gasto combustible	11,900
		Precio	269,400		Precio	Desde 196,200
	Peugeot 308	Ciudad	8.6 km/litro		Ciudad	16.8 km/litro
		Carretera	15.4 km/litro		Carretera	21.7 km/litro
		Combinado	12.1 km/litro		Combinado	20.0 km/litro
		Motor	1.6L 4cil		Motor	1.6L 4cil
		Gasto combustible	24,000		Gasto combustible	12,300
		Precio	319,900		Precio	223,000
	Renault Fluence	Ciudad	8.7 km/litro		Ciudad	15.7 km/litro
		Carretera	15.6 km/litro		Carretera	22.4 km/litro
		Combinado	12.2 km/litro		Combinado	18.4 Km/litro
		Motor	2.0L 4cil		Motor	1.8L 4cil
		Gasto combustible	23,800		Gasto combustible	13,200
		Precio	277,000		Precio	241,000

Figura 3: Consumos específicos de los automóviles más vendidos en el 2014.

“En el caso Peruano, el sector automotriz, ha registrado progreso en cuanto a la modernización de los vehículos, debido a que cada año ingresan más vehículos nuevos, debido a tres factores: menor costo de adquisición, mayor rendimiento de consumo de combustible, y mayor seguridad. A pesar de ello, si se realiza la comparación con países que tienen la misma población, su valor aún es menor. (Arimany, 2014, p.4).

Los consumos combustible, está dado por la eficiencia de los motores de combustión interna, debido a la eficiencia que éstos presentan, debiendo precisar que el valor de eficiencia de éstos motores están alrededor del 30%, siendo un valor relativamente bajo si se compara con eficiencia de motores con otro tipo de energía, es decir de los motores eléctricos, los cuales alcanzan eficiencia alrededor del 95%.

En la ciudad de Lima, con un sistema de transporte en proceso de cambio, el consumo de combustible es mayor en todo el Perú, con más del 40% de consumo, a pesar de la modernización del sector automotriz, aún circulan por la ciudad vehículos que datan de los años 70 y 80, los cuales tiene baja eficiencia, alto consumo de combustible, mayores emisiones de gases, sumado a ello el intenso tráfico de la ciudad. (Arimany, 2014, p.4)

En el sector minero del Perú, se ha regulado el ingreso de las unidades vehiculares, es decir solo se permite el ingreso de vehículos cero kilómetros, por lo cual es un parque automotor totalmente renovado, además de ello, los vehículos solamente circulan en las empresas mineras hasta tener un máximo kilometraje entre 30 y 50 mil kilómetros, luego de ello, estas unidades salen de éste sector, y se envían a la ciudad, en donde nuevamente contribuyen al desorden que existe en las principales ciudades del país. (OSINERTMIN, 2015, p. 13)

En la figura 2, se observa el porcentaje del consumo de gasolina en las principales ciudades del Perú, notando que Lima, es el mayor consumidor, seguido de Arequipa, entre otros (Osinermin, 2014, p.7).

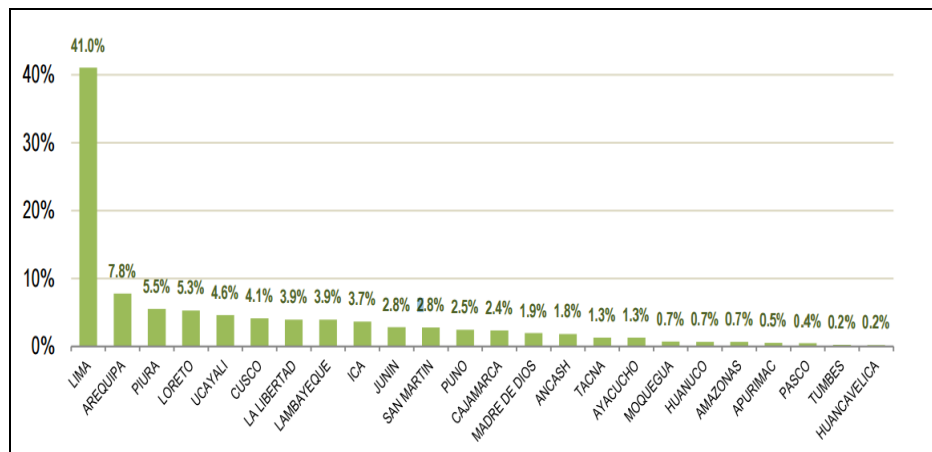


Figura 4: Consumo de Gasolina en el Perú, 2013.

La mala calidad del combustible, contribuye de manera significativa en la operatividad de las unidades vehiculares; en el Perú, existe una forma de comercialización del combustible, en el que muchas veces el combustible se altera con otras sustancias, a fin de incrementar las ganancias de las empresas dedicadas a la venta de combustible en las estaciones de servicio y de los grifos de las ciudades. Se comercializan combustibles de octanaje 84, 90, 95 y 97 octanos, sin embargo a pesar de existir la recomendación de utilizar combustibles de alto octanaje de combustible, muchos conductores utilizan gasolina de bajo octanaje, esto disminuye el tiempo de vida de las unidades vehiculares. (Besich, 2012, p.7).

Los motores de combustión interna, específicamente los motores que utilizan gasolina, se tienen los que aún utilizan carburadores en sus sistemas de alimentación, como los que utilizan sistemas de inyección electrónica para su funcionamiento, éstos últimos tienen un control más eficiente en cuanto al suministro de combustible, debido a que es controlada y regulada por un microprocesador. Los vehículos que utilizan aún el carburador, presentan un alto consumo de combustible, así como también emisiones de gases contaminantes a gran escala. (Besich, 2012, p.7).

Tabla 3: *Antigüedad de los vehículos en las principales ciudades del País.*

Antigüedad	Lima	Arequipa	Trujillo	Chiclayo	Cajamarca	Huancayo	Ica
Año 70 - Año 80	8	6	12	11	8	9	11
Año 80 - Año 90	12	11	14	11	12	13	11
Año 90 - 2000	10	14	15	12	16	17	11
2000-2010	45	46	33	45	33	33	39
2010-2015	25	23	26	21	31	28	28
Total	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: SUNARP, 2016

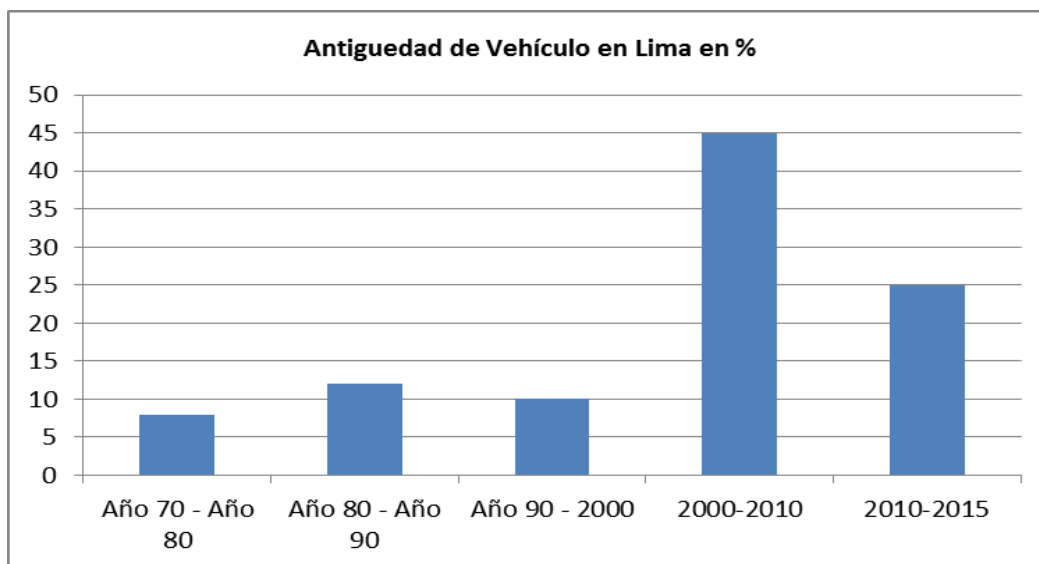


Figura 5: Antigüedad del parque automotor de Lima.

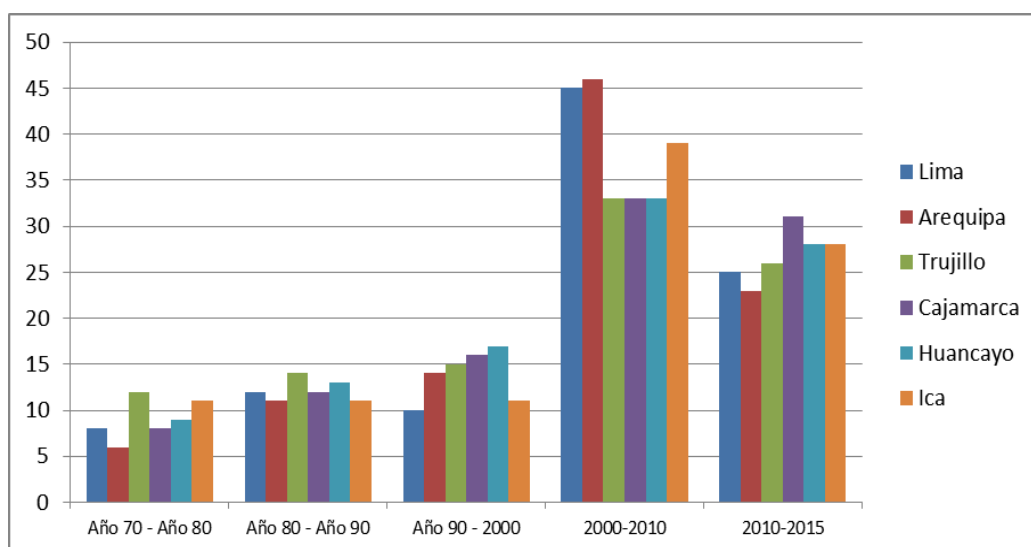


Figura 6: Antigüedad del parque automotor de Lima.

Existe en la ciudad de Chiclayo, desconocimiento por parte de los conductores, en cuánto a las condiciones de operatividad del vehículo, en cuanto a su consumo de combustible, como también en la energía que entrega el motor; eso se ve reflejado mayormente en las unidades dedicadas al transporte público de pasajeros, en el cual el efecto de la economía juega un rol importante en el funcionamiento óptimo de éstos vehículos.

En los vehículos con motores diesel, el calor de la combustión se convierte en energía mecánica a través del eje cigüeñal, sin embargo cuando las condiciones de operatividad del motor no son las adecuadas, los consumos de combustible y la potencia mecánica son de menor valor al nominal; esto se da porque gran parte de la energía se transfiere al sistema de enfriamiento del motor; existe una variación entre 10 y 12 grados centígrados. Se ha evidenciado que muchas unidades vehiculares que se utilizan en la ciudad de Chiclayo, el monoblock del motor está recalentado, con lo cual el consumo específico de combustible se incrementa entre el 10 y 15%, lo cual hace que la rentabilidad del vehículo no sea atractivo para su uso en el sector público de transporte de pasajeros

Si bien es cierto que los fabricantes de vehículos, informan acerca del rendimiento de los vehículos, en cuánto a los niveles de contaminación, consumo de combustible, recorrido, etc., son valores nominales a condiciones de funcionamiento óptimo, sin embargo no se tiene conocimiento, como éstos valores se van modificando en función al desgaste de los elementos del motor, a la falta de mantenimiento, a la mala conducción, entre otros; dicho factores alteran los valores nominales de los fabricantes, los cuales inciden en los costos operativos del vehículo.

“Chiclayo, una ciudad ubicada estratégicamente en el Norte del Perú, circulan diariamente 600000 vehículos, camiones, autobuses, automóviles entre otros, y todos ellos tienen un consumo aproximado al día de 70000 galones, lo cual representa un valor que incide en la economía del país” (Rojas, 2015, p.1).

“En la ciudad de Chiclayo, actualmente funcionan cuatro plantas de revisiones técnicas, los cuales certifican si las unidades se encuentran en estado operativo, así como también los valores de emisiones de gases de escape, y se tiene el reporte que el 20% de los vehículos no pasan la evaluación debido a problemas en el funcionamiento del motor y demás sistemas” (Rojas, 2015, p.3).

Giró (2005, p.5), en su tesis titulada: “Modelización y Simulación de un Sistema de Control para Ensayos de Motores de Combustión Interna” Universidad Nacional De La Plata, Argentina.

La finalidad de este trabajo es la modelización y simulación de un sistema de control para ensayos de motores de combustión interna. Este modelo computarizado de tiempo real estará destinado a predecir el desempeño de un conjunto motor-freno y a evaluar el

comportamiento de su unidad de control. Éste permitirá estudiar condiciones de inestabilidad del sistema, facilitará el ajuste de los parámetros de la unidad de control y hará posible reproducir fenómenos colaterales o respuestas inesperadas.

Caballero (2014, p.2), en su tesis denominada “Implementación y montaje de un banco de pruebas de inyección electrónica para el taller de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH mediante la utilización de un motor Chevrolet AVEO de combustión interna a gasolina” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

Se ha diseñado y construido un banco didáctico de inyección electrónica para el taller de la Escuela de Ingeniería Automotriz, con el objetivo de desarrollar experticia en la solución de problemas provenientes del funcionamiento de sensores y actuadores automotrices.

Urrutia (2001, p.9). En su tesis de maestría, denominada: Sistema Motor-Inversor “Sensorless” Para El Arranque De Vehículo Híbrido “PLUG-IN” PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE.

Esta tesis presenta el desarrollo e implementación de un sistema “sensor less” de partida para un motor de combustión interna (ICE) en un vehículo híbrido serie “plug-in”. Al no poseer torque a la partida, el ICE requiere ser acelerado externamente hasta la velocidad de encendido, usando generalmente un motor eléctrico de corriente continua.

Hernández (2011, p.5), en su tesis denominada: “Diseño e Implementación de una Unidad Electrónica para Controlar el Desempeño de un Motor de Combustión Interna” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

El diseño e implementación de un “Sistema Electrónico de Control de Encendido e Inyección de un motor de combustión interna”, fue desarrollado en “Talleres Automotrices Álvarez” de la ciudad de Riobamba, para que los sistemas de carburador y distribuidor de un automóvil, puedan ser remplazados por sistemas modernos de alimentación de combustible y encendido.

Campoverde (2016, p.3). Tesis de Maestría en sistemas automotrices: “Determinación de la eficiencia de un motor ciclo Otto de inyección electrónica respecto de la temperatura y presión de inyección del combustible” Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.

El presente trabajo desarrolla el estudio del efecto de la temperatura y la presión del combustible sobre las prestaciones de un motor de combustión interna. Establece un análisis mediante el diseño experimental, que determina las condiciones de toma de datos, para proporcionar un modelo estadístico que establezca la variación de las prestaciones del motor, emisiones y eficiencia térmica, en relación a las variables de entrada.

“La Termoeconomía es la disciplina combinando racionalmente conceptos de termodinámica y de la economía proporciona fundamentos teóricos y procedimientos prácticos para el análisis auditorio diseño y atomización” (Lozano,2013, p.7)

Consumo específico de combustible.

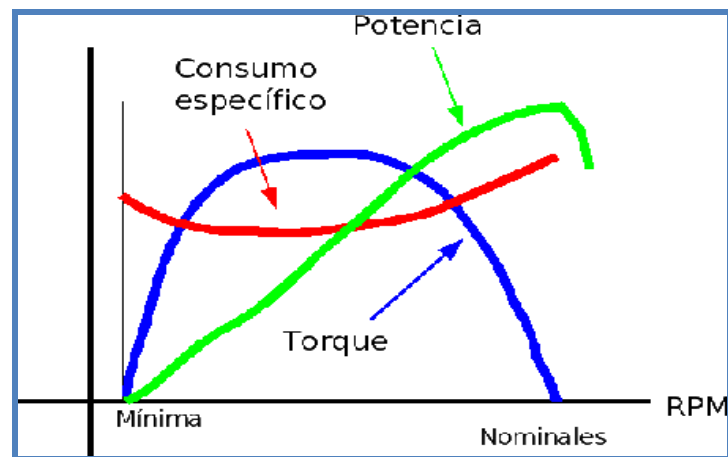


Figura 7: Curva de consumo de combustible en motor de gasolina.

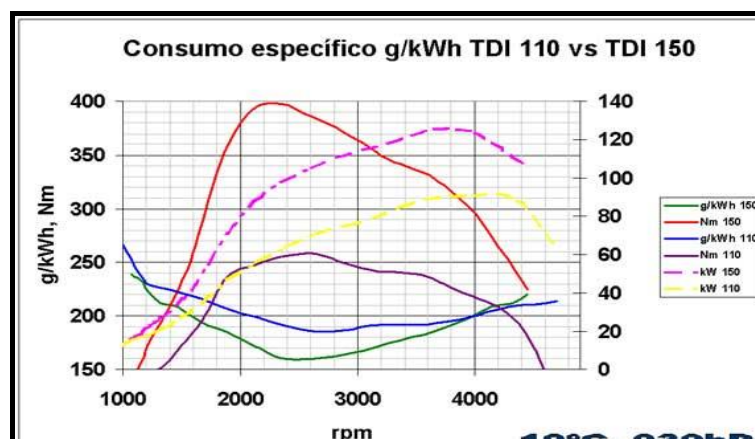


Figura 8: Consumo específico de combustible.

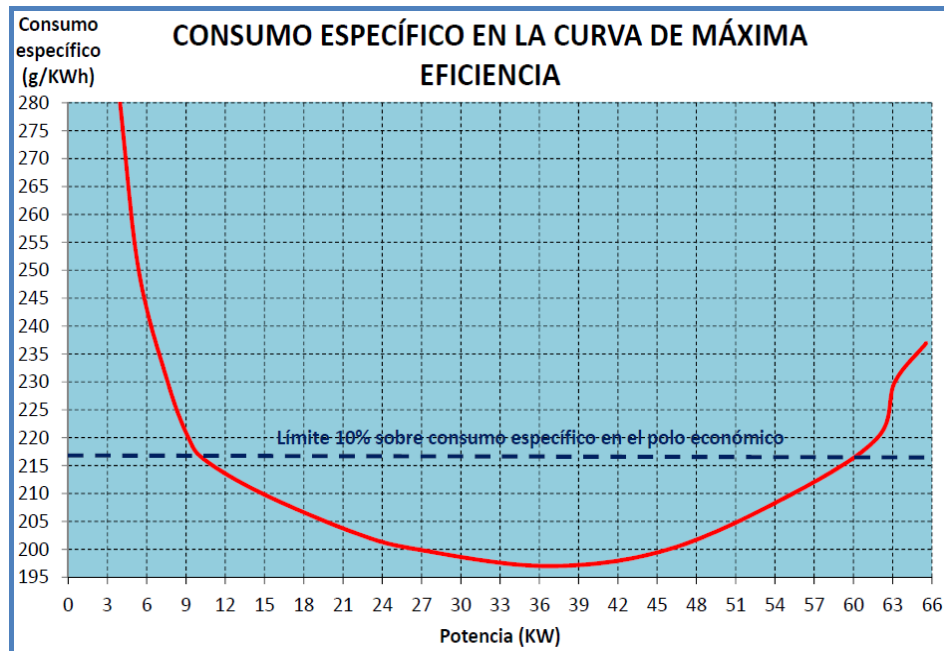


Figura 9: Consumo específico en función a la potencia.

La Formulación del Problema del proyecto de investigación es: ¿Cómo realizar el análisis termoeconómico de un motor diesel para optimizar el consumo de combustible?

Se justifica técnicamente, científicamente, ambiental, socialmente y económicamente el proyecto de investigación.

Técnicamente se justifica el presente proyecto de investigación, debido a que los valores de eficiencia térmica de los motores Diesel están alrededor del 30%, existiendo una gran cantidad de energía que no se aprovecha en alguna de sus formas; por lo tanto al identificar zonas donde la energía por medio de algún mecanismo logre captar ésta energía que por lo general es térmica, los valores de eficiencia se incrementan.

Científicamente se justifica debido que interrelacionando las dos leyes de la termodinámica, es decir la primera ley que es de índole cuantitativo y la segunda ley que es de índole cualitativo con los indicadores económicos, es posible determinar el costo real de la energía mecánica que se produce en el motor Diesel; éstas relaciones están enmarcadas dentro de, funcionamiento del ciclo termodinámico diesel, así como también en la ley de la conservación de la energía.

El proyecto de investigación tiene su mayor justificación en el aspecto ambiental, debido a que la optimización del consumo de combustible tiene su implicancia directa en la

disminución de los gases de escape del motor diesel. Ello conlleva a disminuir las emisiones de los gases de la contaminación, tales como dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, y vapor de agua.

La hipótesis de la investigación se plantea: El Análisis Termoeconómico determina la optimización del consumo de combustible en un motor Diesel

El objetivo general de la investigación es Realizar el Análisis Termoeconómico para Optimizar el Consumo de Combustible en un Motor Diesel en la Ciudad de Chiclayo; además se plantea tres objetivos específicos, que son:

- Realizar mediciones en el motor diesel, en función a los parámetros de funcionamiento, para determinar los consumos específicos de combustible.
- Realizar un balance exergético en el motor Diesel, en donde se incluya la limitación que exige la segunda ley de la termodinámica.
- Hacer una evaluación termoeconómica, donde incluya la relación directa entre el costo energético y el óptimo ingreso de combustible al motor Diesel.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de investigación

Tipo descriptivo

2.2. Variables, operacionalización

2.2.1. Variable Independiente

Análisis Termo económico

2.2.2. Variable Dependiente

Consumo de combustible en un motor Diésel.

2.2.3. Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala de medición
Análisis Termoeconómico	Es un método que relaciona las variables económicas y las térmicas, para obtener el resultado del costo óptimo de la energía; permite determinar bolsones de energía que no se están aprovechando, para que mediante un mecanismo apropiado logre captar la energía en alguna de sus formas, y de esa manera se incremente la eficiencia térmica. (Díaz, 2014, p.3)	Mediante los balances energéticos y exergéticos, se evalúan la interacción de los parámetros de funcionamiento, tales como velocidades, flujos de energía, temperatura y presión del aire y del combustible. La primera ley de la termodinámica que cuantifica la energía, y el trabajo mecánico, se interrelaciona con la segunda ley de la termodinámica que cualifica la degradación de la energía dentro de un motor diesel.	Análisis Energético Análisis Exergético	Temperatura del Aire y Combustible. Presión del Aire y Combustible. Calor. Potencia Mecánica Torque	Guía de Observación	Grados centígrados. Kilopascal. Kilojoule. Kilowatt N-m
Consumo de combustible	El consumo de combustible de un motor de combustión interna, indica la cantidad de gasolina que ingresa al motor en un determinado tiempo, indica la cantidad de gasolina que se requiere para recorrer 1km, así como también la cantidad de gasolina para generar 1KW de potencia mecánica.	El consumo de combustible se determina si se conoce la variación en tiempo real de los parámetros, los cuales son medidos utilizando los sensores ubicados en el motor de la unidad vehicular, y se mide en función a los kilómetros recorridos, como también a la potencia desarrollada	Consumos Específicos de combustible.	Consumo por distancia recorrida. Consumo por potencia desarrollada. Consumo por tiempo.	Guía de Observación	Galones por kilometro. Galones por Kilowatt. Galones por hora.

2.3. Población y muestra

Población.

51 Motores Diésel 1600 cc, del año 2014, de la empresa de transportes “León del Oriente” de la ciudad de Chiclayo.

Muestra.

4 motores diésel de combustión interna de 1600 cc, con turbocompresor, los cuales se determinaron con la expresión de muestra finita:

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Revisión documental y observación.

Instrumento de recolección de datos

- Guías de observación:
- Guía de análisis de documento:

Validez y confiabilidad

Validez

La validez de este proyecto de investigación nos concierne a la interpretación correcta y cuidado exhaustivo del proceso metodológico de los resultados que obtenemos en el estudio del tema científico estudiando en este caso la optimizar el consumo de combustible utilizando las señales eléctricas del motor.

2.5. Métodos de análisis de datos

Los protocolos de prueba que se utilizarán, serán realizados de acuerdo a lo planificado, y los datos de los equipos son de confiabilidad alta, debido a que se utilizarán instrumentos calibrados.

2.6. Aspectos éticos.

El investigador tiene la obligación de poner fuentes confiables de información y ser responsable con la toma de decisiones para que éstas sean consistentes con la seguridad, salud, medio ambiente y beneficio de la sociedad, ser honesto y realista al establecer conclusiones o estimaciones derivadas del análisis.

III. RESULTADOS

3.1. Realizar mediciones en el motor diésel, en función a los parámetros de funcionamiento, para determinar los consumos específicos de combustible.

Para la determinación de los consumos de combustible en un motor diesel, a diferencia de los motores a gasolina, se debe tener en cuenta la relación de compresión en cada uno de los cilindros del motor, debido a que si la variación de éste valor muestra valores desequilibrados, el torque mecánico se vuelve inestable, y por ende disminuye la potencia del motor, y éste se evidencia cuando funciona a una régimen de plena carga.

Para la correcta toma de las mediciones, se establece dos protocolos de medición:

- a) Protocolo para medición de los desequilibrios en la compresión.
- b) Protocolo para edición de los consumos de combustible.

Protocolo para medición de los desequilibrios en la compresión.

1. Encender el motor diesel hasta que alcance su temperatura de funcionamiento, para lo cual, se debe verificar el funcionamiento del motor eléctrico del ventilador del sistema de refrigeración.
2. Instalar el scanner automotriz en el conector de diagnóstico.
3. Desmontar el Inyector N° 1, para lo cual se debe configurar con el scanner el código de instalación, mediante la opción de desactivación de inyección en el scanner automotriz
4. Instalar el compresímetro, en el espacio del inyector.
5. Dar giro al motor y leer la lectura en el manómetro.
6. Repetir la prueba en cada uno de los cuatro cilindros del motor diesel de 1600 cc.

Protocolo para medición del consumo de combustible.

1. Consumir el combustible en el motor diesel hasta que alcance el nivel de reserva en el tanque de combustible.
2. Suministrar combustible Biodiesel 5, por el valor de 50.00 Nuevos Soles.
3. Registrar en el odómetro la lectura de los Kilómetros recorridos.
4. Funcionamiento normal del vehículo diesel, dentro de la ciudad.
5. Medir la lectura en el odómetro para registrar el valor, en el momento en que se alcanza el valor de reserva en el tanque de combustible.
6. Repetir la prueba en los tres vehículos de prueba.

En la tabla 2, se muestran los resultados de la prueba de los desequilibrios de la compresión, y en la tabla 3, los resultados de los consumos de combustible.

Tabla 4: Pruebas de consumo de Biodiesel a 3 diferentes vehículos de 1600 cc

Vehículos	Temperatura del Motor (° C)	Consumo de Combustible (Galones)	Costo del Biodiesel (Nuevos Soles)	Recorrido (Km)					Consumo	
				Primera Medición	Segunda Medición	Tercera Medición	Cuarta Medición	Promedio	S/. / Km	Km/Galón
Primer Vehículo de Prueba	85	4.9	50	210.7	205.8	205.8	210.7	208.25	0.240	42.50
Segundo Vehículo de Prueba	84	4.9	50	220.5	225.4	220.5	215.6	220.5	0.168	45.00
Tercer Vehículo de Prueba	87	4.9	50	225.4	205.8	220.5	225.4	219.275	0.167	44.75

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 4, se puede analizar que los consumos de combustible biodiesel oscilan entre 205 y 225 Km por cada 50 Nuevos Soles de consumo de combustible, ésta variación son por las variaciones de las condiciones de funcionamiento, básicamente en el sistema de inyección de combustible, en el caso de los motores que tienen menor consumo de combustible, es porque el motor alcanza la temperatura normal de funcionamiento.

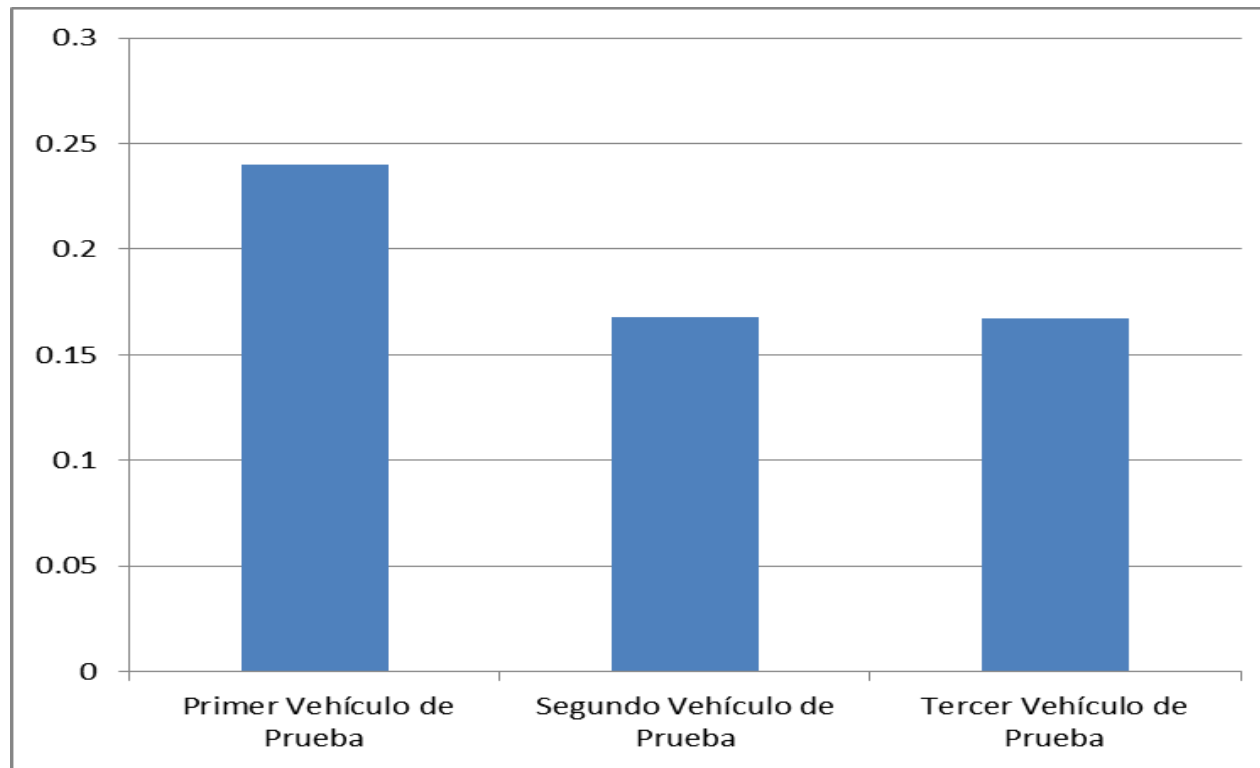


Figura 10: Consumo específico de combustible (S/ / Km)

Tabla 5: Pruebas de consumo de Biodiesel a 3 diferentes vehículos de 1600 cc

Vehículos	Temperatura del Motor (°C)	Consumo de Combustible (Galones)	Costo del Biodiesel (Nuevos Soles)	Presión de Compresión (PSI)				
				Compresión Cilindro 1 (PSI)	Compresión Cilindro 2 (PSI)	Compresión Cilindro 3 (PSI)	Compresión Cilindro 4 (PSI)	Promedio (PSI)
Primer Vehículo de Prueba	85	4.9	50	398	402	403	398	400.25
Segundo Vehículo de Prueba	84	4.9	50	403	405	407	408	405.75
Tercer Vehículo de Prueba	87	4.9	50	410	412	414	416	413

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 5, se puede analizar que las presiones de compresión oscilan entre 398 y 416 PSI, , ésta variación son por las variaciones de las condiciones de funcionamiento, básicamente en el los anillos de los pistones y la temperatura de funcionamiento del motor, en el caso de los motores que tienen menor consumo de combustible, es porque el motor alcanza la temperatura normal de funcionamiento, y mantiene una alta presión de compresión

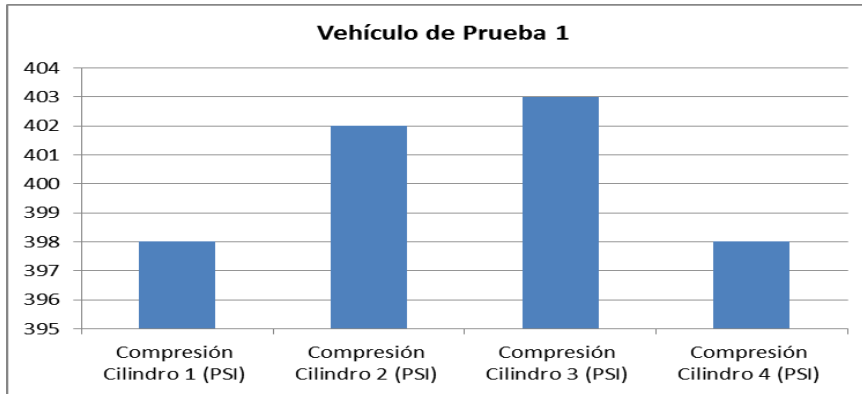


Figura 11: Prueba de compresión por cada cilindro del vehículo N°1

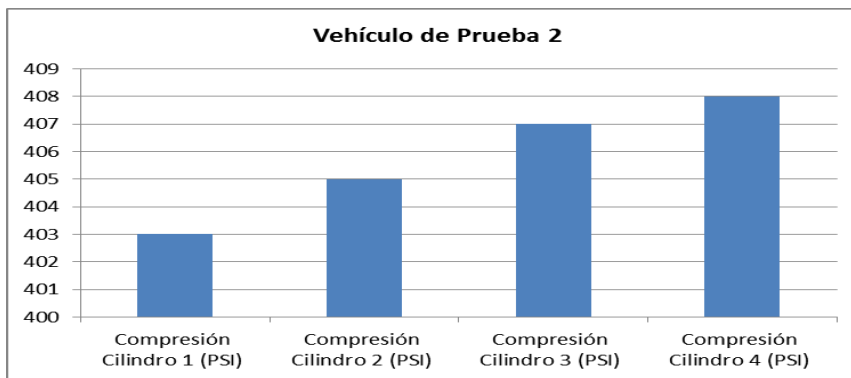


Figura 12: Prueba de compresión por cada cilindro del vehículo N°2

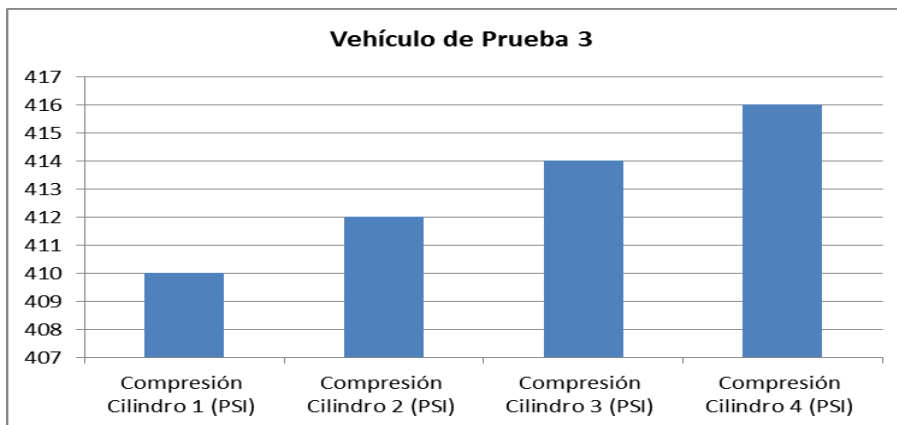


Figura 13: Prueba de compresión por cada cilindro del vehículo N°3

3.2. Realizar un balance exergético en el motor Diesel, en donde se incluya la limitación que exige la segunda ley de la termodinámica.

El análisis termoeconómico, sigue el método de análisis exérgico, el cual asocia las dos leyes de la termodinámica, tanto la primera ley que es cuantitativa como la segunda que es cualitativa.

Estados de Referencias.

Para la ciudad de Chiclayo, ubicado a 32 msnm, con alta humedad relativa, en promedio 70%,

Presión ambiente: 101,325 kPa.

Temperatura ambiente: 298 K

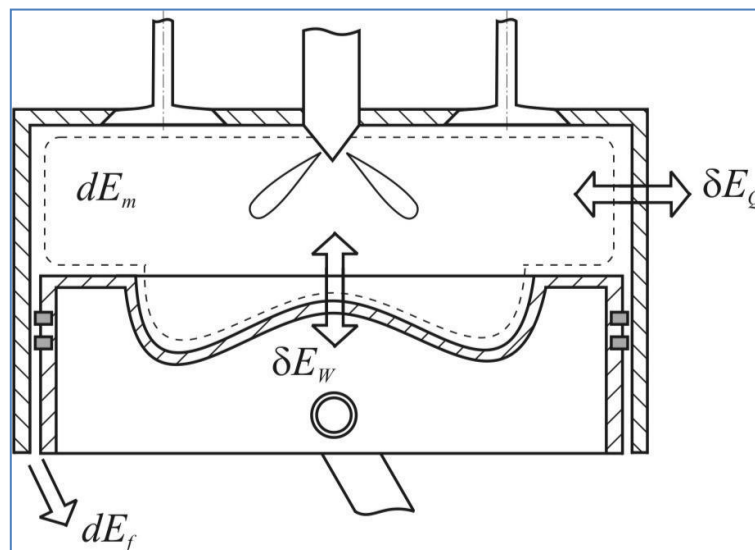


Figura 14: Volumen de control

Los resultados de las mediciones de calor en los tres motores, se muestran en porcentaje de la cantidad total de la energía del combustible, que es de 44 MJ/Kg.

Tabla 6: Porcentaje de cada tipo de energía en motor Diésel

Vehículo de Prueba	Porcentaje de cada tipo de energía			
	Energía Mecánica en cigüeñal	Energía calorífica agua de refrigeración	Energía gases de escape	Energía mecánica para accesorios
Primer Vehículo de Prueba	28	32	29	11
Segundo Vehículo de Prueba	26	35	31	8
Tercer Vehículo de Prueba	29	34	28	9

Fuente: Elaboración propia

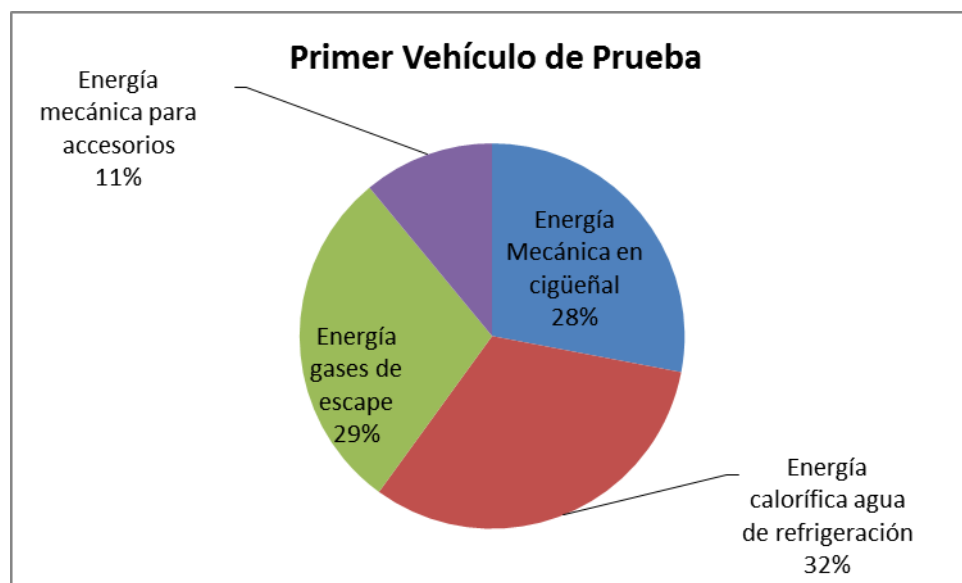


Figura 15: Representación en % por cada tipo de energía producida por el motor del vehículo N°1

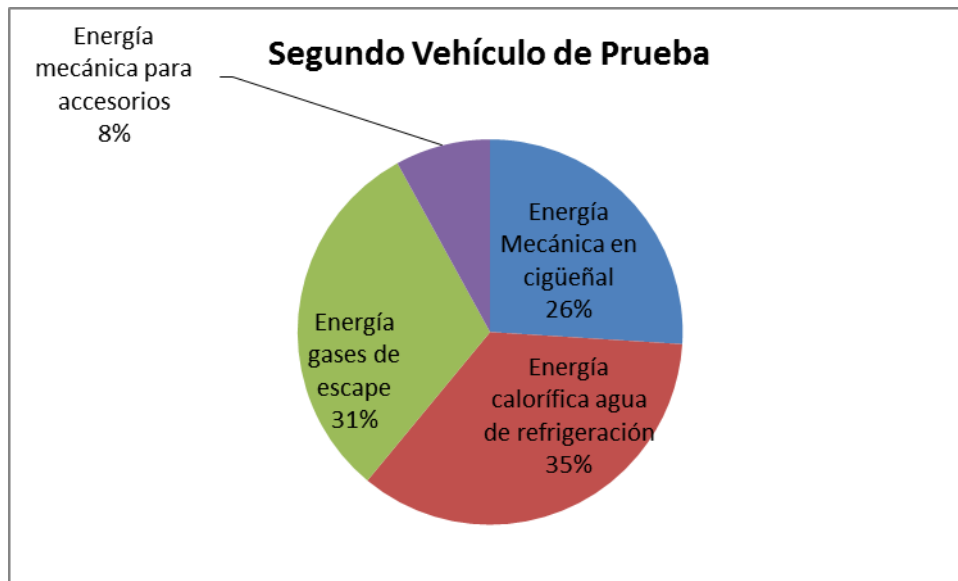


Figura 16: Representación en % por cada tipo de energía producida por el motor del vehículo N°2

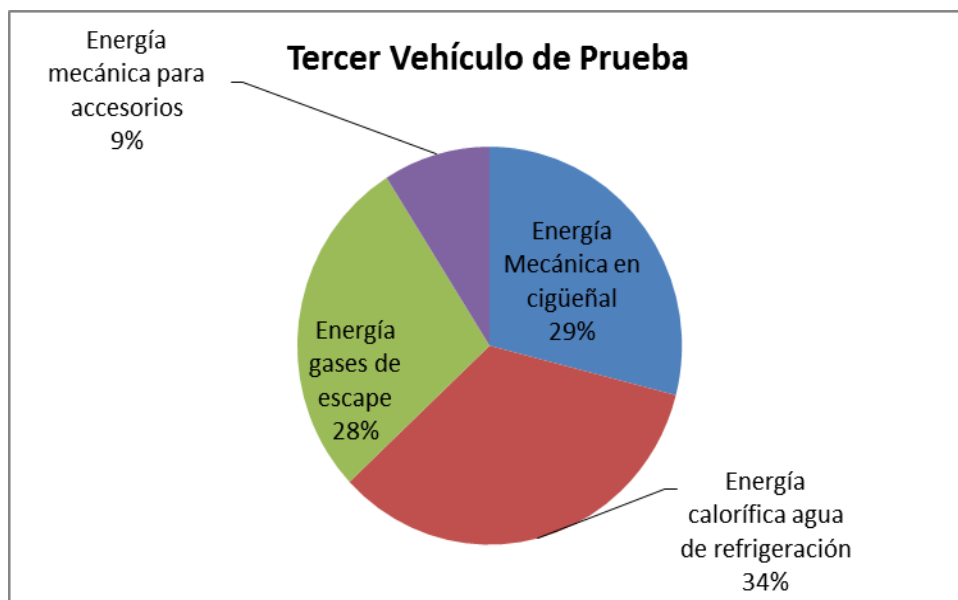


Figura 17: Representación en % por cada tipo de energía producida por el motor del vehículo N°3

Energía mecánica en el cigüeñal del motor

La energía mecánica que se genera en el cigüeñal del motor, está dada por factores como la presión de compresión en el interior del cilindro, la velocidad de giro del cigüeñal, el torque mecánico, así como también a la geometría del motor, como son el diámetro del cilindro, el recorrido del pistón, el radio de giro del cigüeñal, entre otros.

La potencia mecánica se expresa:

$$P_m = \text{Torque} * \text{Velocidad Angular}.$$

La velocidad angular en función a las rpm de motor se expresa:

$$\text{Velocidad Angular} = \frac{2\pi * RPM}{60}$$

El torque mecánico del motor, es la relación entre la fuerza y el radio de giro del cigüeñal; la fuerza con el cual es impulsado el motor, se obtiene de relacionar la presión media efectiva en el interior del cilindro por el área del cilindro, es decir:

$$F = \frac{Pr * 2 * \pi * D^2}{4}$$

Dónde:

F: Fuerza con el cual se impulsa el pistón, en N.

D: Diámetro del pistón, en metros.

Pr: Presión media efectiva, en Pascal.

Por lo tanto reemplazando, se tiene:

$$P_m = \frac{Pr * 2 * \pi * D^2}{4} * \frac{r * 2 * \pi * RPM}{60}$$

Dónde:

D: Diámetro del pistón, 80 mm (0.08m)

Se hizo las mediciones, y se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 7: Mediciones de Variables mecánica del motor de prueba 1.

Motor de Prueba 1: Motor 1600 cc, Año 2014				
Potencia (KiloWatt)	Presión (KiloPascal)	RPM	Diámetro (mm)	radio de cigüeñal (mm)
53.2	900	750	80	75
54.0	900	760	80	75
54.7	900	770	80	75
55.4	900	780	80	75
56.1	900	790	80	75
56.8	900	800	80	75
57.5	900	810	80	75
58.2	900	820	80	75
58.9	900	830	80	75
59.6	900	840	80	75
60.3	900	850	80	75
61.1	900	860	80	75
61.8	900	870	80	75
62.5	900	880	80	75
63.2	900	890	80	75
63.9	900	900	80	75
64.6	900	910	80	75
65.3	900	920	80	75
66.0	900	930	80	75
66.7	900	940	80	75
67.4	900	950	80	75
68.1	900	960	80	75
69.1	903	970	80	75
69.8	903	980	80	75
70.5	903	990	80	75
71.2	903	1000	80	75
71.9	903	1010	80	75
72.7	903	1020	80	75
73.4	903	1030	80	75
74.1	903	1040	80	75
74.8	903	1050	80	75
75.5	903	1060	80	75
76.2	903	1070	80	75
76.9	903	1080	80	75
77.6	903	1090	80	75
78.3	903	1100	80	75
79.1	903	1110	80	75
79.8	903	1120	80	75
80.5	903	1130	80	75
81.2	903	1140	80	75
81.9	903	1150	80	75
82.6	903	1160	80	75

83.3	903	1170	80	75
84.0	903	1180	80	75
84.8	903	1190	80	75
85.5	903	1200	80	75
86.8	909	1210	80	75
87.5	909	1220	80	75
88.2	909	1230	80	75
88.9	909	1240	80	75
89.6	909	1250	80	75
90.3	909	1260	80	75
91.1	909	1270	80	75
91.8	909	1280	80	75
92.5	909	1290	80	75
93.2	909	1300	80	75
93.9	909	1310	80	75
94.6	909	1320	80	75
95.4	909	1330	80	75
96.1	909	1340	80	75
96.8	909	1350	80	75
97.5	909	1360	80	75
98.2	909	1370	80	75
98.9	909	1380	80	75
99.7	909	1390	80	75
100.4	909	1400	80	75
101.1	909	1410	80	75
101.8	909	1420	80	75
102.5	909	1430	80	75
103.2	909	1440	80	75
104.0	909	1450	80	75
104.7	909	1460	80	75
105.4	909	1470	80	75
106.1	909	1480	80	75
106.8	909	1490	80	75
107.5	909	1500	80	75
108.3	909	1510	80	75
109.0	909	1520	80	75
109.7	909	1530	80	75
110.4	909	1540	80	75
111.1	909	1550	80	75
111.9	909	1560	80	75
112.6	909	1570	80	75
113.3	909	1580	80	75
114.0	909	1590	80	75
113.7	901	1600	80	75
114.4	901	1610	80	75
115.1	901	1620	80	75
115.6	899	1630	80	75

116.3	899	1640	80	75
117.0	899	1650	80	75
117.7	899	1660	80	75
118.4	899	1670	80	75
117.4	886	1680	80	75
117.7	883	1690	80	75
118.0	880	1700	80	75
118.3	877	1710	80	75
118.6	874	1720	80	75
118.9	871	1730	80	75
119.1	868	1740	80	75
119.4	865	1750	80	75
119.7	862	1760	80	75
119.9	859	1770	80	75
120.2	856	1780	80	75
120.4	853	1790	80	75
120.7	850	1800	80	75
120.9	847	1810	80	75
121.2	844	1820	80	75
121.4	841	1830	80	75
121.6	838	1840	80	75
121.8	835	1850	80	75
122.1	832	1860	80	75
122.3	829	1870	80	75
122.5	826	1880	80	75
122.7	823	1890	80	75
122.9	820	1900	80	75
123.1	817	1910	80	75
123.3	814	1920	80	75
123.5	811	1930	80	75
123.6	808	1940	80	75
123.8	805	1950	80	75
124.0	802	1960	80	75
124.2	799	1970	80	75
124.3	796	1980	80	75
124.5	793	1990	80	75
124.6	790	2000	80	75
124.8	787	2010	80	75
124.9	784	2020	80	75
125.1	781	2030	80	75
125.2	778	2040	80	75
125.3	775	2050	80	75
125.4	772	2060	80	75
125.6	769	2070	80	75
125.7	766	2080	80	75
125.8	763	2090	80	75
125.9	760	2100	80	75

126.0	757	2110	80	75
126.1	754	2120	80	75
126.2	751	2130	80	75
126.3	748	2140	80	75
126.3	745	2150	80	75
126.4	742	2160	80	75
126.5	739	2170	80	75
126.6	736	2180	80	75
126.6	733	2190	80	75
126.7	730	2200	80	75
126.7	727	2210	80	75
126.8	724	2220	80	75
126.8	721	2230	80	75
126.9	718	2240	80	75
126.9	715	2250	80	75
126.9	712	2260	80	75
126.9	709	2270	80	75
127.0	706	2280	80	75
127.0	703	2290	80	75
127.0	700	2300	80	75
127.0	697	2310	80	75
127.0	694	2320	80	75
127.0	691	2330	80	75
127.0	688	2340	80	75
127.0	685	2350	80	75
127.0	682	2360	80	75
126.9	679	2370	80	75
126.9	676	2380	80	75
126.9	673	2390	80	75
126.8	670	2400	80	75
126.8	667	2410	80	75
126.7	664	2420	80	75
126.7	661	2430	80	75
126.6	658	2440	80	75
126.6	655	2450	80	75
126.5	652	2460	80	75
126.4	649	2470	80	75
126.4	646	2480	80	75
126.3	643	2490	80	75
126.2	640	2500	80	75

Fuente: Elaboración propia

Con ello, se construye la gráfica, en el cuál se observa la tendencia de la potencia mecánica en función a la velocidad de giro del motor. En el eje Y se tiene la potencia mecánica, y en el eje X, se tiene el valor de la velocidad de giro del motor de combustión interna.

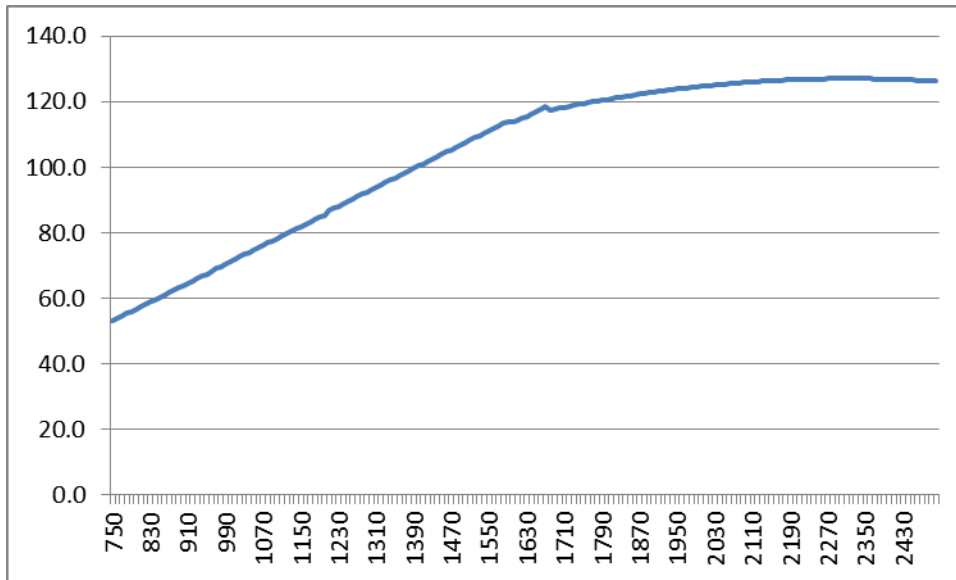


Figura 18: Variación de potencia mecánica en función a RPM.

Así mismo, se tiene la gráfica de la variación de la presión media efectiva, en función a la velocidad de giro del motor.

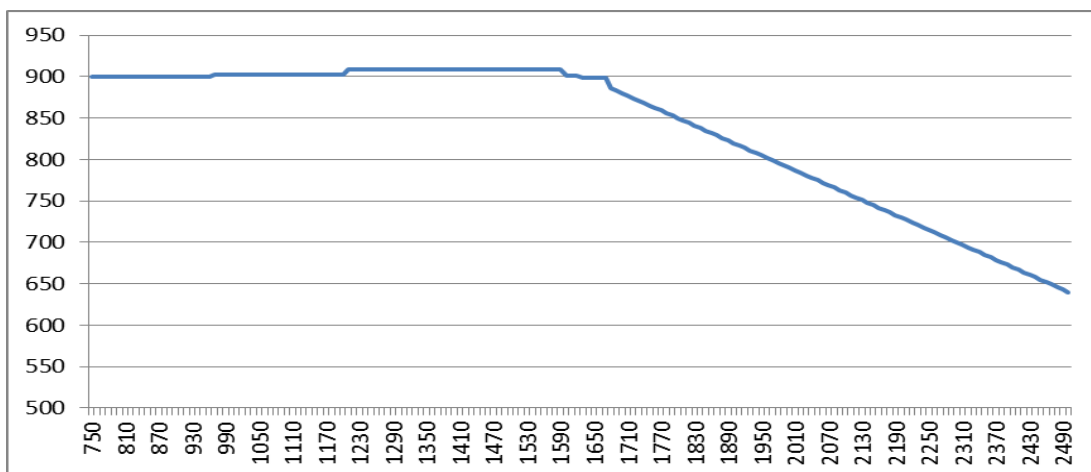


Figura 19: Presión media efectiva (Kpa), en función a RPM de motor.

Tabla 8: *Mediciones de Variables mecánica del motor de prueba 2.*

Motor de Prueba 2: Motor 1600 cc, Año 2013				
Potencia (KiloWatt)	Presión (KiloPascal)	RPM	Diámetro (mm)	radio de cigüeñal (mm)
52.8	892	750	80	75
53.5	892	760	80	75
54.2	892	770	80	75
54.9	892	780	80	75
55.6	892	790	80	75
56.3	892	800	80	75
57.0	892	810	80	75
57.7	892	820	80	75
58.4	892	830	80	75
59.1	892	840	80	75
59.8	892	850	80	75
60.5	892	860	80	75
61.2	892	870	80	75
61.9	892	880	80	75
62.6	892	890	80	75
63.3	892	900	80	75
64.0	892	910	80	75
64.7	892	920	80	75
65.4	892	930	80	75
66.1	892	940	80	75
66.8	892	950	80	75
67.5	892	960	80	75
68.6	897	970	80	75
69.3	897	980	80	75
70.0	897	990	80	75
70.8	897	1000	80	75
71.5	897	1010	80	75
72.2	897	1020	80	75
72.9	897	1030	80	75
73.6	897	1040	80	75
74.3	897	1050	80	75
75.0	897	1060	80	75
75.7	897	1070	80	75
76.4	897	1080	80	75
77.1	897	1090	80	75
77.8	897	1100	80	75
78.5	897	1110	80	75
79.2	897	1120	80	75
80.0	897	1130	80	75
80.7	897	1140	80	75
81.4	897	1150	80	75
82.1	897	1160	80	75

82.8	897	1170	80	75
83.5	897	1180	80	75
84.2	897	1190	80	75
84.9	897	1200	80	75
86.2	903	1210	80	75
86.9	903	1220	80	75
87.6	903	1230	80	75
88.3	903	1240	80	75
89.0	903	1250	80	75
89.7	903	1260	80	75
90.5	903	1270	80	75
91.2	903	1280	80	75
91.9	903	1290	80	75
92.6	903	1300	80	75
93.3	903	1310	80	75
94.0	903	1320	80	75
94.7	903	1330	80	75
95.4	903	1340	80	75
96.2	903	1350	80	75
96.9	903	1360	80	75
97.6	903	1370	80	75
98.3	903	1380	80	75
99.0	903	1390	80	75
99.7	903	1400	80	75
100.4	903	1410	80	75
101.1	903	1420	80	75
101.9	903	1430	80	75
102.6	903	1440	80	75
103.3	903	1450	80	75
104.0	903	1460	80	75
104.7	903	1470	80	75
105.4	903	1480	80	75
106.1	903	1490	80	75
106.8	903	1500	80	75
107.6	903	1510	80	75
108.3	903	1520	80	75
109.0	903	1530	80	75
109.7	903	1540	80	75
110.4	903	1550	80	75
111.1	903	1560	80	75
111.8	903	1570	80	75
112.5	903	1580	80	75
113.2	903	1590	80	75
114.0	903	1600	80	75
114.7	903	1610	80	75
114.1	893	1620	80	75
114.6	891	1630	80	75

115.3	891	1640	80	75
116.0	891	1650	80	75
116.7	891	1660	80	75
117.4	891	1670	80	75
116.3	878	1680	80	75
116.6	875	1690	80	75
116.9	872	1700	80	75
117.2	869	1710	80	75
117.5	866	1720	80	75
117.8	863	1730	80	75
118.0	860	1740	80	75
118.3	857	1750	80	75
118.6	854	1760	80	75
118.8	851	1770	80	75
119.1	848	1780	80	75
119.3	845	1790	80	75
119.5	842	1800	80	75
119.8	839	1810	80	75
120.0	836	1820	80	75
120.2	833	1830	80	75
120.5	830	1840	80	75
120.7	827	1850	80	75
120.9	824	1860	80	75
121.1	821	1870	80	75
121.3	818	1880	80	75
121.5	815	1890	80	75
121.7	812	1900	80	75
121.9	809	1910	80	75
122.1	806	1920	80	75
122.2	803	1930	80	75
122.4	800	1940	80	75
122.6	797	1950	80	75
122.8	794	1960	80	75
122.9	791	1970	80	75
123.1	788	1980	80	75
123.2	785	1990	80	75
123.4	782	2000	80	75
123.5	779	2010	80	75
123.6	776	2020	80	75
123.8	773	2030	80	75
123.9	770	2040	80	75
124.0	767	2050	80	75
124.1	764	2060	80	75
124.3	761	2070	80	75
124.4	758	2080	80	75
124.5	755	2090	80	75
124.6	752	2100	80	75

124.7	749	2110	80	75
124.7	746	2120	80	75
124.8	743	2130	80	75
124.9	740	2140	80	75
125.0	737	2150	80	75
125.1	734	2160	80	75
125.1	731	2170	80	75
125.2	728	2180	80	75
125.2	725	2190	80	75
125.3	722	2200	80	75
125.3	719	2210	80	75
125.4	716	2220	80	75
125.4	713	2230	80	75
125.4	710	2240	80	75
125.5	707	2250	80	75
125.5	704	2260	80	75
125.5	701	2270	80	75
125.5	698	2280	80	75
125.5	695	2290	80	75
125.5	692	2300	80	75
125.5	689	2310	80	75
125.5	686	2320	80	75
125.5	683	2330	80	75
125.5	680	2340	80	75
125.5	677	2350	80	75
125.5	674	2360	80	75
125.4	671	2370	80	75
125.4	668	2380	80	75
125.4	665	2390	80	75
125.3	662	2400	80	75
125.3	659	2410	80	75
125.2	656	2420	80	75
125.2	653	2430	80	75
125.1	650	2440	80	75
125.0	647	2450	80	75
125.0	644	2460	80	75
124.9	641	2470	80	75
124.8	638	2480	80	75
124.7	635	2490	80	75
124.6	632	2500	80	75

Fuente: Elaboración propia

Con ello, se construye la gráfica, en el cuál se observa la tendencia de la potencia mecánica en función a la velocidad de giro del motor. En el eje Y se tiene la potencia mecánica, y en el eje X, se tiene el valor de la velocidad de giro del motor de combustión interna.

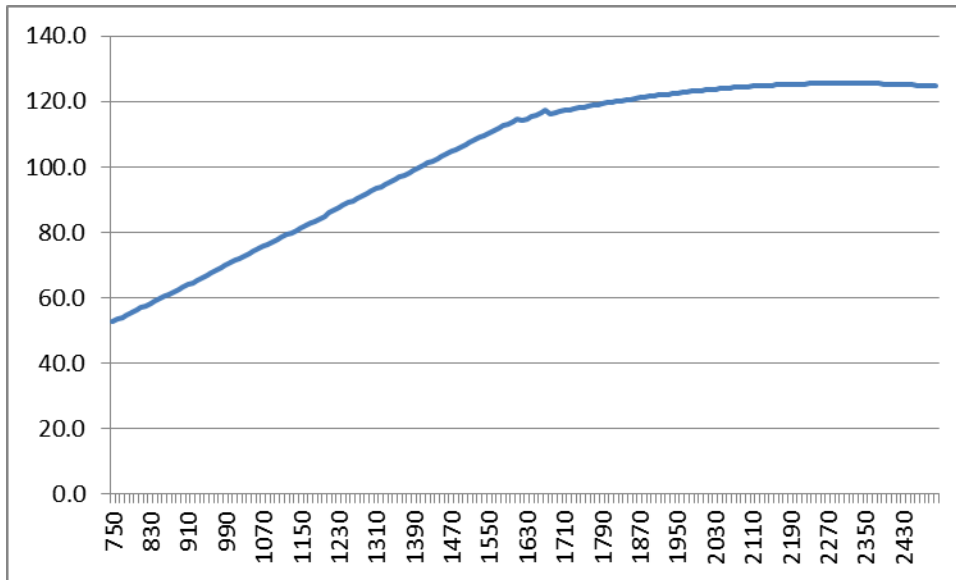


Figura 20: Variación de potencia mecánica en función a RPM.

Así mismo, se tiene la gráfica de la variación de la presión media efectiva, en función a la velocidad de giro del motor.

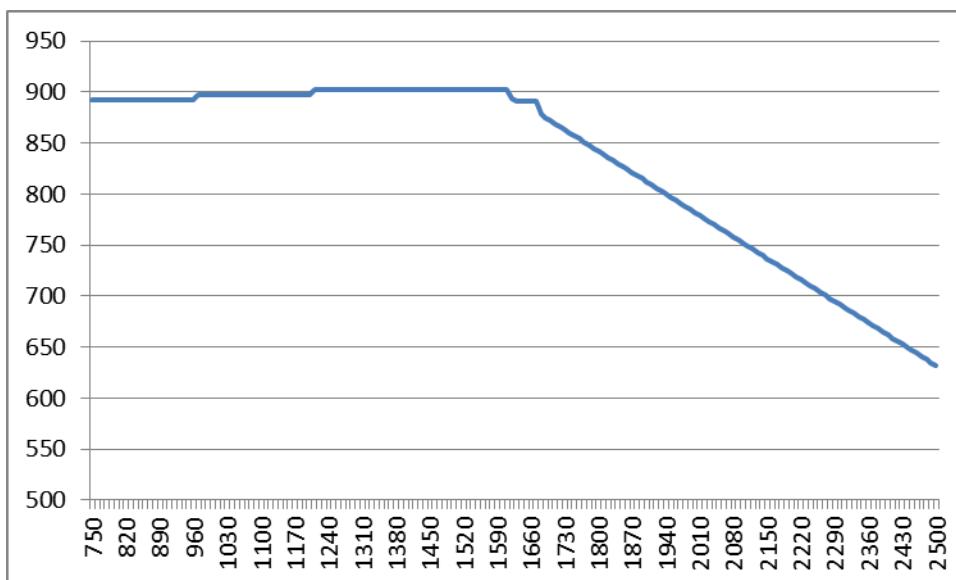


Figura 21: Presión media efectiva (Kpa), en función a RPM de motor.

Tabla 9: *Mediciones de Variables mecánica del motor de prueba 3*

Motor de Prueba 3: Motor 1600 cc, Año 2015				
Potencia (KiloWatt)	Presión (KiloPascal)	RPM	Diámetro mm)	radio de cigüeñal (mm)
51.8	876	750	80	75
52.5	876	760	80	75
53.2	876	770	80	75
53.9	876	780	80	75
54.6	876	790	80	75
55.3	876	800	80	75
56.0	876	810	80	75
56.7	876	820	80	75
57.3	876	830	80	75
58.0	876	840	80	75
58.7	876	850	80	75
59.4	876	860	80	75
60.1	876	870	80	75
60.8	876	880	80	75
61.5	876	890	80	75
62.2	876	900	80	75
62.9	876	910	80	75
63.6	876	920	80	75
64.3	876	930	80	75
65.0	876	940	80	75
66.8	891	950	80	75
67.5	891	960	80	75
68.2	891	970	80	75
68.9	891	980	80	75
69.6	891	990	80	75
70.3	891	1000	80	75
71.0	891	1010	80	75
71.7	891	1020	80	75
72.4	891	1030	80	75
73.1	891	1040	80	75
73.8	891	1050	80	75
74.5	891	1060	80	75
75.2	891	1070	80	75
75.9	891	1080	80	75
76.6	891	1090	80	75
77.3	891	1100	80	75
78.0	891	1110	80	75
78.7	891	1120	80	75
79.4	891	1130	80	75
80.1	891	1140	80	75
80.8	891	1150	80	75
81.5	891	1160	80	75

82.2	891	1170	80	75
83.7	899	1180	80	75
84.4	899	1190	80	75
85.1	899	1200	80	75
85.8	899	1210	80	75
86.5	899	1220	80	75
87.2	899	1230	80	75
87.9	899	1240	80	75
88.6	899	1250	80	75
89.3	899	1260	80	75
90.1	899	1270	80	75
90.8	899	1280	80	75
91.5	899	1290	80	75
92.2	899	1300	80	75
92.9	899	1310	80	75
93.6	899	1320	80	75
94.3	899	1330	80	75
95.0	899	1340	80	75
95.7	899	1350	80	75
96.4	899	1360	80	75
97.1	899	1370	80	75
97.9	899	1380	80	75
98.6	899	1390	80	75
99.3	899	1400	80	75
100.0	899	1410	80	75
100.7	899	1420	80	75
101.4	899	1430	80	75
102.1	899	1440	80	75
102.8	899	1450	80	75
103.9	902	1460	80	75
104.6	902	1470	80	75
105.3	902	1480	80	75
106.0	902	1490	80	75
106.7	902	1500	80	75
107.4	902	1510	80	75
108.1	902	1520	80	75
108.9	902	1530	80	75
109.6	902	1540	80	75
110.3	902	1550	80	75
111.0	902	1560	80	75
111.7	902	1570	80	75
112.4	902	1580	80	75
113.1	902	1590	80	75
113.8	902	1600	80	75
114.5	902	1610	80	75

115.3	902	1620	80	75
116.0	902	1630	80	75
116.7	902	1640	80	75
117.4	902	1650	80	75
118.1	902	1660	80	75
118.8	902	1670	80	75
119.5	902	1680	80	75
120.2	902	1690	80	75
120.9	902	1700	80	75
121.7	902	1710	80	75
115.9	854	1720	80	75
116.5	854	1730	80	75
117.2	854	1740	80	75
117.9	854	1750	80	75
118.6	854	1760	80	75
119.2	854	1770	80	75
119.9	854	1780	80	75
120.6	854	1790	80	75
121.2	854	1800	80	75
121.9	854	1810	80	75
122.6	854	1820	80	75
123.3	854	1830	80	75
123.9	854	1840	80	75
124.6	854	1850	80	75
125.3	854	1860	80	75
122.6	831	1870	80	75
123.2	831	1880	80	75
123.9	831	1890	80	75
124.5	831	1900	80	75
125.2	831	1910	80	75
125.8	831	1920	80	75
120.0	788	1930	80	75
120.6	788	1940	80	75
121.2	788	1950	80	75
121.8	788	1960	80	75
122.4	788	1970	80	75
123.1	788	1980	80	75
123.7	788	1990	80	75
124.3	788	2000	80	75
124.9	788	2010	80	75
125.6	788	2020	80	75
126.2	788	2030	80	75
126.8	788	2040	80	75
118.4	732	2050	80	75
118.9	732	2060	80	75

119.5	732	2070	80	75
120.1	732	2080	80	75
120.7	732	2090	80	75
121.2	732	2100	80	75
121.8	732	2110	80	75
122.4	732	2120	80	75
123.0	732	2130	80	75
123.6	732	2140	80	75
124.1	732	2150	80	75
124.7	732	2160	80	75
125.3	732	2170	80	75
125.9	732	2180	80	75
126.4	732	2190	80	75
127.0	732	2200	80	75
122.2	701	2210	80	75
122.7	701	2220	80	75
123.3	701	2230	80	75
123.9	701	2240	80	75
124.4	701	2250	80	75
125.0	701	2260	80	75
125.5	701	2270	80	75
126.1	701	2280	80	75
116.5	645	2290	80	75
117.0	645	2300	80	75
117.5	645	2310	80	75
118.0	645	2320	80	75
118.5	645	2330	80	75
119.0	645	2340	80	75
119.6	645	2350	80	75
120.1	645	2360	80	75
120.6	645	2370	80	75
121.1	645	2380	80	75
115.2	611	2390	80	75
115.7	611	2400	80	75
116.1	611	2410	80	75
116.6	611	2420	80	75
117.1	611	2430	80	75
117.6	611	2440	80	75
118.1	611	2450	80	75
118.6	611	2460	80	75
119.0	611	2470	80	75
119.5	611	2480	80	75
120.0	611	2490	80	75
120.5	611	2500	80	75

Fuente: Elaboración propia

Con ello, se construye la gráfica, en el cuál se observa la tendencia de la potencia mecánica en función a la velocidad de giro del motor. En el eje Y se tiene la potencia mecánica, y en el eje X, se tiene el valor de la velocidad de giro del motor de combustión interna.

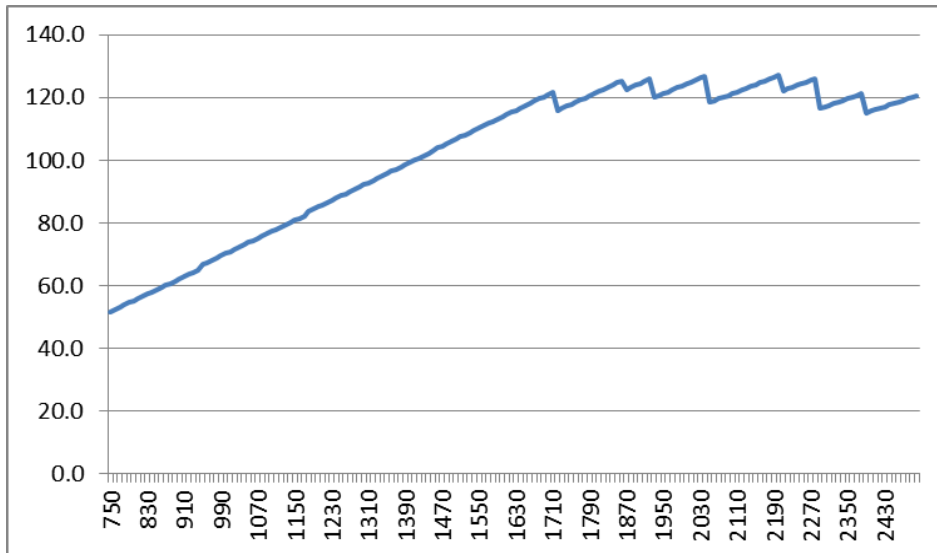


Figura 22: Variación de potencia mecánica en función a RPM.

Así mismo, se tiene la gráfica de la variación de la presión media efectiva, en función a la velocidad de giro del motor.

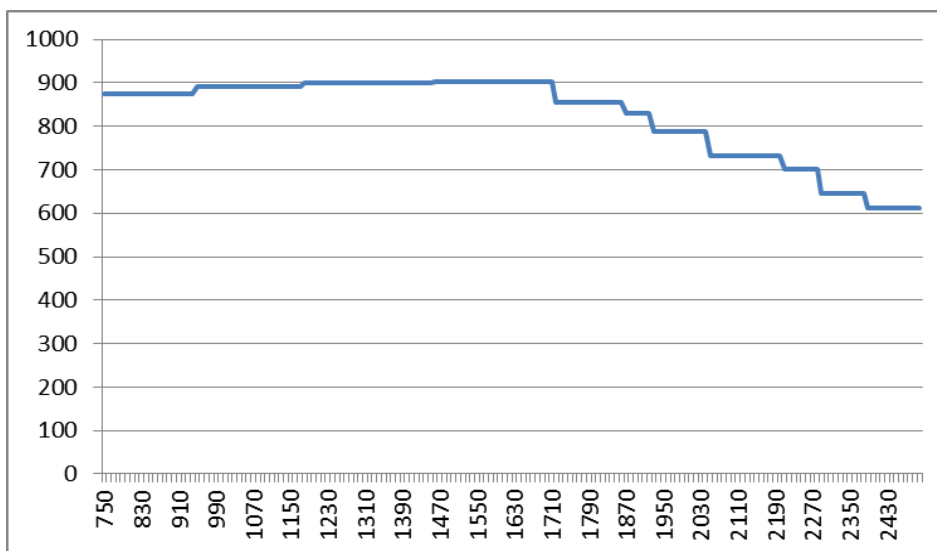


Figura 23: Presión media efectiva (Kpa), en función a RPM de motor.

Tabla 10: Mediciones de Variables mecánica del motor de prueba 4

Motor de Prueba 4: Motor 1600 cc, Año 2011				
Potencia (KiloWatt)	Presión (KiloPascal)	RPM	Diámetro (mm)	radio de cigüeñal (mm)
50.5	854	750	80	75
51.2	854	760	80	75
51.9	854	770	80	75
52.5	854	780	80	75
53.2	854	790	80	75
53.9	854	800	80	75
54.6	854	810	80	75
55.2	854	820	80	75
55.9	854	830	80	75
56.6	854	840	80	75
57.3	854	850	80	75
57.9	854	860	80	75
58.6	854	870	80	75
59.3	854	880	80	75
60.0	854	890	80	75
60.6	854	900	80	75
61.3	854	910	80	75
62.0	854	920	80	75
62.6	854	930	80	75
63.3	854	940	80	75
65.4	873	950	80	75
66.1	873	960	80	75
66.8	873	970	80	75
67.5	873	980	80	75
68.2	873	990	80	75
68.9	873	1000	80	75
69.5	873	1010	80	75
70.2	873	1020	80	75
70.9	873	1030	80	75
71.6	873	1040	80	75
72.3	873	1050	80	75
73.0	873	1060	80	75
73.7	873	1070	80	75
74.4	873	1080	80	75
75.1	873	1090	80	75
75.7	873	1100	80	75
76.4	873	1110	80	75
77.1	873	1120	80	75
77.8	873	1130	80	75
78.5	873	1140	80	75
79.2	873	1150	80	75
79.9	873	1160	80	75

80.6	873	1170	80	75
82.0	881	1180	80	75
82.7	881	1190	80	75
83.4	881	1200	80	75
84.1	881	1210	80	75
84.8	881	1220	80	75
85.5	881	1230	80	75
86.2	881	1240	80	75
86.9	881	1250	80	75
87.6	881	1260	80	75
88.3	881	1270	80	75
88.9	881	1280	80	75
89.6	881	1290	80	75
90.3	881	1300	80	75
91.0	881	1310	80	75
91.7	881	1320	80	75
92.4	881	1330	80	75
93.1	881	1340	80	75
93.8	881	1350	80	75
94.5	881	1360	80	75
95.2	881	1370	80	75
95.9	881	1380	80	75
96.6	881	1390	80	75
97.3	881	1400	80	75
98.0	881	1410	80	75
98.7	881	1420	80	75
99.4	881	1430	80	75
100.1	881	1440	80	75
100.8	881	1450	80	75
102.6	891	1460	80	75
103.3	891	1470	80	75
104.0	891	1480	80	75
104.7	891	1490	80	75
105.4	891	1500	80	75
106.1	891	1510	80	75
106.8	891	1520	80	75
107.5	891	1530	80	75
108.2	891	1540	80	75
108.9	891	1550	80	75
109.6	891	1560	80	75
110.3	891	1570	80	75
111.0	891	1580	80	75
111.7	891	1590	80	75
112.4	891	1600	80	75
113.1	891	1610	80	75
113.9	891	1620	80	75
114.6	891	1630	80	75

115.3	891	1640	80	75
116.0	891	1650	80	75
116.7	891	1660	80	75
117.4	891	1670	80	75
118.1	891	1680	80	75
118.8	891	1690	80	75
119.5	891	1700	80	75
120.2	891	1710	80	75
112.9	832	1720	80	75
113.5	832	1730	80	75
114.2	832	1740	80	75
114.8	832	1750	80	75
115.5	832	1760	80	75
116.2	832	1770	80	75
116.8	832	1780	80	75
117.5	832	1790	80	75
118.1	832	1800	80	75
118.8	832	1810	80	75
119.4	832	1820	80	75
120.1	832	1830	80	75
120.8	832	1840	80	75
121.4	832	1850	80	75
122.1	832	1860	80	75
119.6	811	1870	80	75
120.3	811	1880	80	75
120.9	811	1890	80	75
121.5	811	1900	80	75
122.2	811	1910	80	75
122.8	811	1920	80	75
118.3	777	1930	80	75
118.9	777	1940	80	75
119.5	777	1950	80	75
120.1	777	1960	80	75
120.7	777	1970	80	75
121.3	777	1980	80	75
122.0	777	1990	80	75
122.6	777	2000	80	75
123.2	777	2010	80	75
123.8	777	2020	80	75
124.4	777	2030	80	75
125.0	777	2040	80	75
120.1	743	2050	80	75
120.7	743	2060	80	75
121.3	743	2070	80	75
121.9	743	2080	80	75
122.5	743	2090	80	75
123.1	743	2100	80	75

123.7	743	2110	80	75
124.2	743	2120	80	75
124.8	743	2130	80	75
125.4	743	2140	80	75
126.0	743	2150	80	75
126.6	743	2160	80	75
127.2	743	2170	80	75
127.8	743	2180	80	75
128.3	743	2190	80	75
128.9	743	2200	80	75
119.9	688	2210	80	75
120.5	688	2220	80	75
121.0	688	2230	80	75
121.6	688	2240	80	75
122.1	688	2250	80	75
122.6	688	2260	80	75
123.2	688	2270	80	75
123.7	688	2280	80	75
114.2	632	2290	80	75
114.7	632	2300	80	75
115.2	632	2310	80	75
115.7	632	2320	80	75
116.2	632	2330	80	75
116.6	632	2340	80	75
117.1	632	2350	80	75
117.6	632	2360	80	75
118.1	632	2370	80	75
118.6	632	2380	80	75
113.7	603	2390	80	75
114.2	603	2400	80	75
114.6	603	2410	80	75
115.1	603	2420	80	75
115.6	603	2430	80	75
116.1	603	2440	80	75
116.5	603	2450	80	75
117.0	603	2460	80	75
117.5	603	2470	80	75
118.0	603	2480	80	75
118.4	603	2490	80	75
118.9	603	2500	80	75

Fuente: Elaboración propia

Con ello, se construye la gráfica, en el cuál se observa la tendencia de la potencia mecánica en función a la velocidad de giro del motor. En el eje Y se tiene la potencia mecánica, y en el eje X, se tiene el valor de la velocidad de giro del motor de combustión interna.

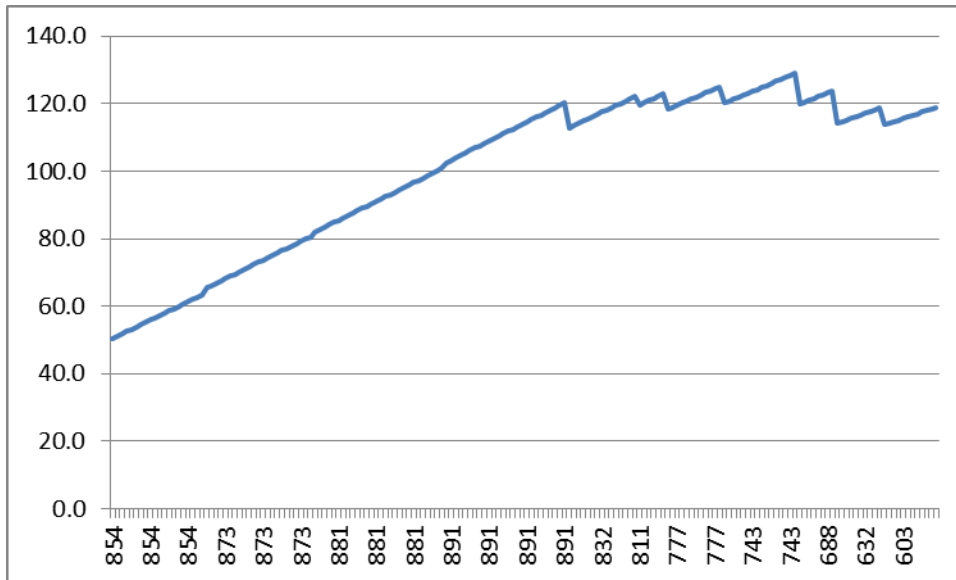


Figura 24: Variación de potencia mecánica en función a RPM.

Así mismo, se tiene la gráfica de la variación de la presión media efectiva, en función a la velocidad de giro del motor.

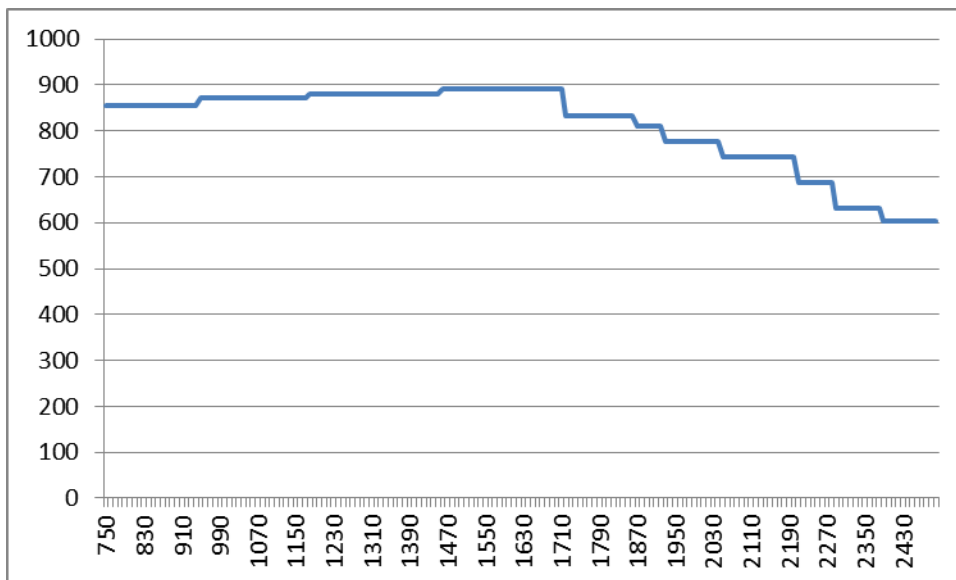


Figura 25: Presión media efectiva (Kpa), en función a RPM de motor

Tabla 11: *Mediciones de Variables mecánica del motor de prueba 5*

Motor de Prueba 5: Motor 1600 cc, Año 2011				
Potencia (KiloWatt)	Presión (KiloPascal)	RPM	Diámetro (mm)	radio de cigüeñal (mm)
50.6	858	755	80	75
51.3	858	765	80	75
52	858	775	80	75
52.6	858	785	80	75
53.3	858	795	80	75
54	858	805	80	75
54.7	858	815	80	75
55.3	858	825	80	75
56	858	835	80	75
56.7	858	845	80	75
57.3	858	855	80	75
58	858	865	80	75
58.7	858	875	80	75
59.4	858	885	80	75
60	858	895	80	75
60.7	858	905	80	75
61.2	858	915	80	75
62.1	858	925	80	75
62.7	858	935	80	75
63.4	858	945	80	75
65.2	879	955	80	75
66.1	879	965	80	75
66.9	879	975	80	75
67.6	879	985	80	75
68.4	879	995	80	75
69	879	1005	80	75
69.6	879	1015	80	75
70.3	879	1025	80	75
71	879	1035	80	75
71.7	879	1045	80	75
72.1	879	1055	80	75
73.1	879	1065	80	75
73.8	879	1075	80	75
74.5	879	1085	80	75
75.2	879	1095	80	75

75.8	879	1105	80	75
75.9	879	1115	80	75
77.2	879	1125	80	75
77.9	879	1135	80	75
78.9	879	1145	80	75
79.3	879	1155	80	75
80	879	1165	80	75
80.7	879	1175	80	75
82.1	887	1185	80	75
82.8	887	1195	80	75
83.5	887	1205	80	75
84.2	887	1215	80	75
84.9	887	1225	80	75
85.6	887	1235	80	75
86.3	887	1245	80	75
87	887	1255	80	75
87.7	887	1265	80	75
88.4	887	1275	80	75
89	887	1285	80	75
89.7	887	1295	80	75
90.4	887	1305	80	75
91.1	887	1315	80	75
92.3	887	1325	80	75
92.5	887	1335	80	75
93.2	887	1345	80	75
93.9	887	1355	80	75
94.6	887	1365	80	75
95.3	887	1375	80	75
96	887	1385	80	75
96.7	887	1395	80	75
97.4	887	1405	80	75
98.1	887	1415	80	75
98.8	887	1425	80	75
99.5	887	1435	80	75
100.2	887	1445	80	75
100.9	887	1455	80	75
102.7	898	1465	80	75
103.4	898	1475	80	75
104.1	898	1485	80	75
104.8	898	1495	80	75

105.5	898	1505	80	75
106.2	898	1515	80	75
106.9	898	1525	80	75
107.6	898	1535	80	75
108.3	898	1545	80	75
109	898	1555	80	75
109.7	898	1565	80	75
110.4	898	1575	80	75
111.1	898	1585	80	75
111.8	898	1595	80	75
112.5	898	1605	80	75
113.2	898	1615	80	75
114	898	1625	80	75
114.7	898	1635	80	75
115.4	898	1645	80	75
116.1	898	1655	80	75
116.8	898	1665	80	75
117.5	898	1675	80	75
118.2	898	1685	80	75
118.9	898	1695	80	75
119.6	898	1705	80	75
120.3	898	1715	80	75
113	839	1725	80	75
113.6	839	1735	80	75
114.3	839	1745	80	75
114.9	839	1755	80	75
115.6	839	1765	80	75
116.3	839	1775	80	75
116.9	839	1785	80	75
117.6	778	1795	80	75
118.2	778	1805	80	75
118.9	778	1815	80	75
119.5	778	1825	80	75
120.2	778	1835	80	75
120.9	778	1845	80	75
121.5	778	1855	80	75
122.2	778	1865	80	75
119.7	778	1875	80	75
120.4	778	1885	80	75
121	778	1895	80	75

121.6	778	1905	80	75
122.3	778	1915	80	75
122.9	778	1925	80	75
118.4	778	1935	80	75
119	781	1945	80	75
119.6	781	1955	80	75
120.2	781	1965	80	75
120.8	781	1975	80	75
121.4	781	1985	80	75
122.1	781	1995	80	75
122.7	781	2005	80	75
123.3	781	2015	80	75
123.9	781	2025	80	75
124.5	781	2035	80	75
125.1	781	2045	80	75
120.2	747	2055	80	75
120.8	747	2065	80	75
121.4	747	2075	80	75
122	747	2085	80	75
122.6	747	2095	80	75
123.2	747	2105	80	75
123.8	747	2115	80	75
124.3	747	2125	80	75
124.9	747	2135	80	75
125.5	747	2145	80	75
126.1	747	2155	80	75
126.7	747	2165	80	75
127.3	747	2175	80	75
127.9	747	2185	80	75
128.4	747	2195	80	75
129	747	2205	80	75
120	692	2215	80	75
120.6	692	2225	80	75
121.1	692	2235	80	75
121.7	692	2245	80	75
122.2	692	2255	80	75
122.7	692	2265	80	75
123.3	692	2275	80	75
123.8	692	2285	80	75
114.3	636	2295	80	75

114.8	636	2305	80	75
115.3	636	2315	80	75
115.8	636	2325	80	75
116.3	636	2335	80	75
116.7	636	2345	80	75
117.2	636	2355	80	75
117.7	636	2365	80	75
118.2	636	2375	80	75
118.7	636	2385	80	75
113.8	602	2395	80	75
114.3	602	2405	80	75
114.7	602	2415	80	75
115.2	602	2425	80	75
115.7	602	2435	80	75
116.2	602	2445	80	75
116.6	602	2455	80	75
117.1	602	2465	80	75
117.6	602	2475	80	75
118.1	602	2485	80	75
118.5	602	2495	80	75
119	602	2500	80	75

Fuente: Elaboración propia

Con ello, se construye la gráfica, en el cuál se observa la tendencia de la potencia mecánica en función a la velocidad de giro del motor. En el eje Y se tiene la potencia mecánica, y en el eje X, se tiene el valor de la velocidad de giro del motor de combustión interna.

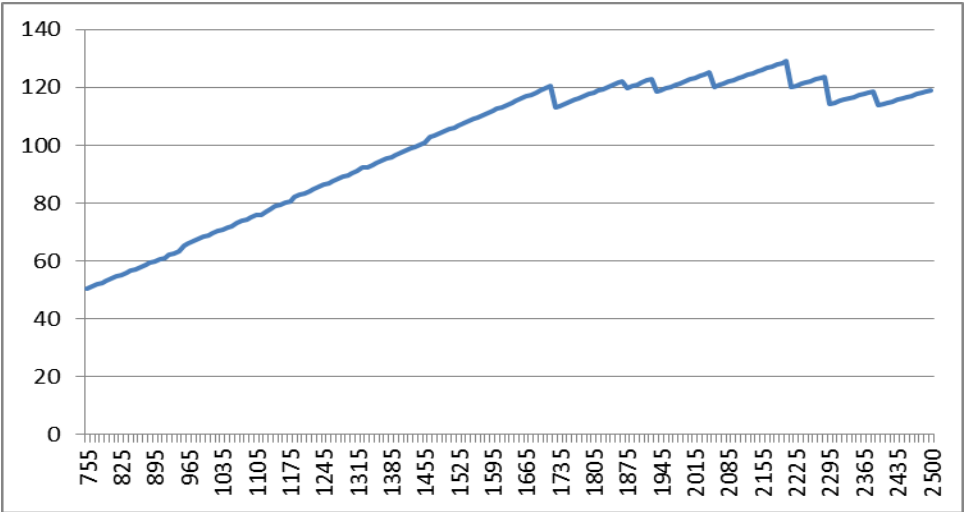


Figura 26: Presión media efectiva (Kpa), en función a RPM de motor.

Así mismo, se tiene la gráfica de la variación de la presión media efectiva, en función a la velocidad de giro del motor.

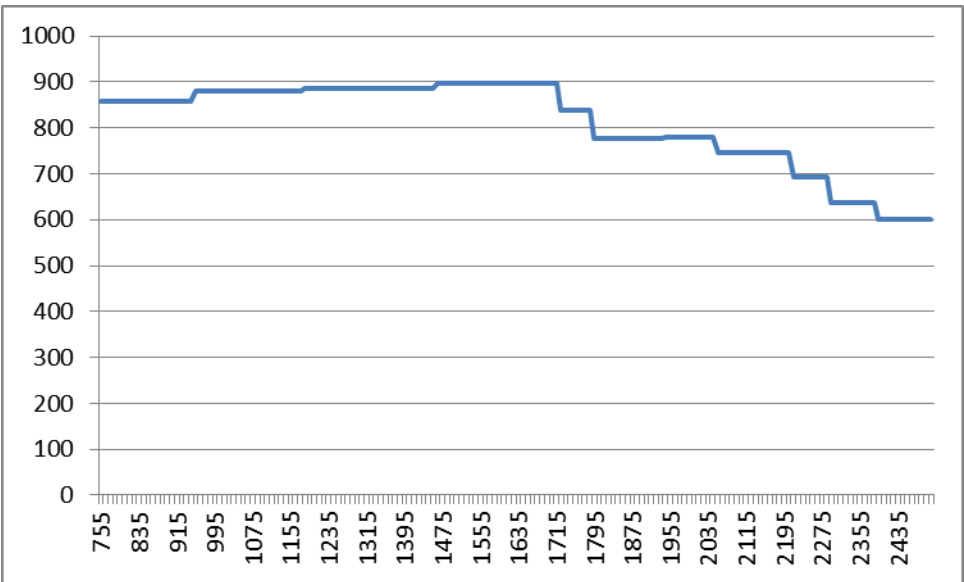


Figura 27: Presión media efectiva (Kpa), en función a RPM de motor.

3.3. Hacer una evaluación termoeconómica, donde incluya la relación directa entre el costo energético y el óptimo ingreso de combustible al motor Diesel.

Para la evaluación termoeconómica se tuvieron que realizar mediciones en el motor, mediciones que se realizaron utilizando medidores que captan la información de las señales eléctricas que ingresan y salen a la unidad de control electrónico del motor.

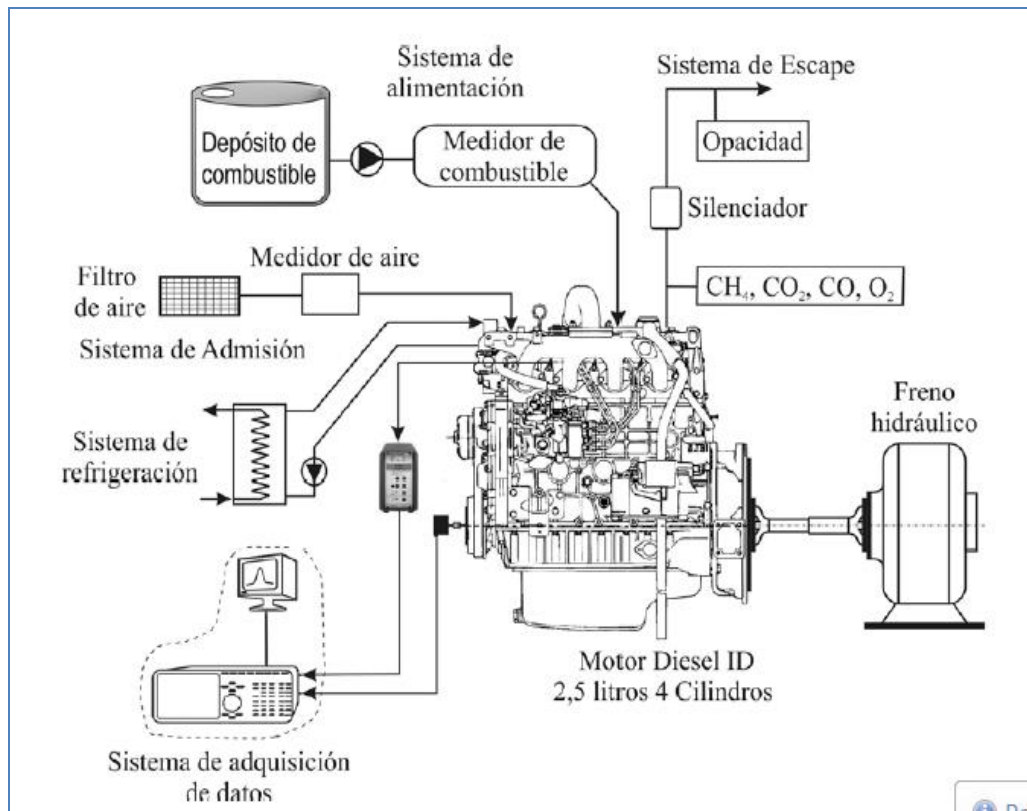


Figura 28: Mediciones a realizar en Motor Diésel de Prueba.

- a) Medición del consumo de combustible.
- b) Medición de variables eléctricas en sistema de inyección.

Tabla 12: *Ficha Técnica Motor Diésel de Prueba*

Tipo	Diesel Inyección Directa
Alimentación	Turboalimentado
Cilindrada	2500 cc
N° de Cilindros	4 en línea
Diámetro	93mm
Carrera	92mm
Relación de compresión	18.4 a 1
Potencia Nominal	59kW / 4100 rpm
Torque Máximo	360 Nm a 2300 rp

Fuente: Elaboración propia

La información que se obtuvo de las mediciones de opacidad de gases, es para verificar la composición del grado de opacidad que presenta el motor, para su comparación con la normativa vigente en cuanto a límites máximos permisibles de emisiones de gases de escape, que están reguladas bajo la norma EURO3.

Para medir el consumo de combustible se utilizó el medidor de nivel de combustible del vehículo, el cual tiene un sistema de medición en función a la resistencia eléctrica variable por posición, que en función al nivel de combustible en el tanque, es posible determinar cuántos galones o centímetros cúbicos de combustible se consumen dentro de un tiempo establecido.

Para la medición de las señales eléctricas, se utilizó un scanner automotriz, el cual registra todos los parámetros de funcionamiento del motor, como el flujo de masa de aire, la temperatura del aceite, la presión del combustible, los desequilibrios en la compresión del motor, etc.

Todas las mediciones se realizaron en 4 diferentes regímenes de funcionamiento del motor, es decir a velocidad ralentí de 600 rpm, 1200 rpm, 1600 y 2000 rpm.

El scanner automotriz, logra captar la presión en el interior del cilindro del motor, mediante mediciones indirectas, las cuales hacen posible la construcción de la siguiente figura de la presión en el cilindro del motor.

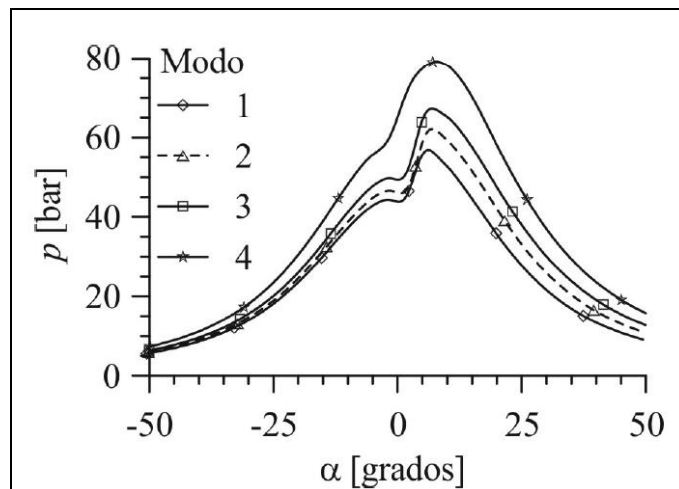


Figura 29: Presión en el interior del cilindro en función al ángulo de giro del cigüeñal.

Otra variable a medir con el scanner automotriz, es el calor que se libera dentro del cilindro, para ello el scanner toma mediciones indirectas y genera curvas, en donde se puede observar el calor que se libera dentro del cilindro a medida que el pistón tiene su movimiento alternativo.

Las curvas de liberación de calor correspondientes se presentan en la figura 9 en la cual se puede ver cómo en el modo 1 se tiene un primer pico de premezcla alto y uno de combustión por difusión bajo. Al aumentar la carga, en los modos 2 y 3, se conserva el comportamiento observado en el modo 2, ya que el inicio de la inyección no se ve sensiblemente modificado. Las curvas son mayores debido a que inyecta más combustible. En el modo 4 se presenta un adelanto significativo de la inyección, el cual se traduce en un adelanto del inicio de la combustión. Debido al mayor régimen de giro, disminuye la masa quemada en premezcla y domina la combustión lenta o por difusión.

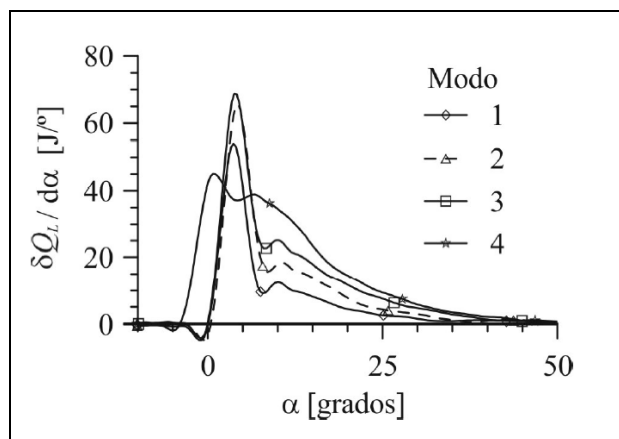


Figura 30: Cantidad de calor liberado dentro del cilindro.

En la figura 9 se muestra la variación temporal de la exergía de la mezcla de gases en el interior del cilindro. La exergía del contenido del cilindro al cierre de la válvula de admisión es aproximadamente igual para todos los modos de operación y casi nula debido a que en estas condiciones el sistema es aire a baja presión y temperatura. Para el resto del ciclo se observa un aumento de la exergía con el grado de carga tanto durante el proceso de compresión como durante la combustión. Las diferencias en el proceso de compresión se deben principalmente al efecto del sistema de turboalimentación, y en menor medida a los cambios en el régimen de giro y en la transferencia de calor.

El comportamiento de la exergía antes del PMS se debe a la mayor presión en esta etapa. Al comenzar la combustión se da un mayor aumento de exergía para los modos con más carga debido a que se quema más combustible y a que el motor se hace más adiabático por el incremento en el régimen de giro. La exergía de los gases a la apertura del escape es directamente proporcional al grado de carga, haciendo que el sistema de turboalimentación disponga de más energía para realizar su trabajo.

Evaluación Térmica

La evaluación térmica del motor diésel de prueba consiste en determinar en que valores funciona el motor y su comparación con los valores del fabricante, para evaluar las pérdidas térmicas que suceden.

El motor de prueba es de cilindrada 2500 cc, que tiene una potencia máxima de 59Kw a 4100 RPM, y un torque máximo de 360 N-m a 2300 RPM, con dichos valores se corrobora, según las mediciones que se han realizado.

Relación carrera – diámetro.

El motor de prueba tiene una cilindrada de 2500 cc, y según dato del fabricante una carrera de 92mm, y un diámetro de 93mm, por lo tanto la relación carrera – diámetro se determina:

$$Rcd = \frac{S}{D} \dots\dots\dots (1)$$

Dónde.

Rcd: Relación carrera – diámetro.

S: Carrera del motor, 92mm

D: Diámetro del pistón, 93 mm

Reemplazando valores se obtiene:

$$Rcd = \frac{92}{93} = 0.989$$

Este valor de 0.989, es la relación entre dichas dimensiones, que podrían variarse, bajo dos modalidades.

- a) Disminuir el diámetro del cilindro.
- b) Disminuir la carrera del pistón.

Ambas opciones se analizan para ver, si la relación entre la carrera y diámetro que presenta éste motor es la adecuada o que si variando ésta relación se optimiza el consumo de combustible.

Se analiza la segunda opción que consiste en disminuir la carrera del pistón. Es decir mediante el denominado aplanado de la culata, en donde se plantea

incrementar la relación de compresión del motor para mejorar la combustión del diésel en la cámara de combustión.

El motor de prueba, según dato del fabricante tiene una relación de compresión de 18.4 a 1, y se plantea incrementar ésta relación hasta un valor de 18.8, éste incremento de relación de compresión, origina mayor presión de la combustión, por lo tanto mayor potencia, sin embargo se reduce la cilindrada del motor, debido al acortamiento de la cámara de combustión.

En el tiempo de compresión se comprime sólo el aire aspirado en la válvula de admisión hasta un volumen igual a la de la cámara de combustión. El objeto de incrementar la compresión es elevar la presión, elevar la temperatura, y de gasificar el combustible.

Se ha tomado como incremento de 18.4 a 18.8 debido a que el diésel a mayor presión de compresión, origina mayor potencia, tal como se observa en la ecuación:

$$Pe = \frac{M * 4 * \pi}{Vh} \dots\dots\dots (2)$$

Dónde:

Pe: Presión Media.

M: Par motor

Vh: Cilindrada del motor.

Al incrementarse la presión media, entonces se incrementa el par motor, como consecuencia de ello se incrementa la potencia mecánica que es:

$$P = \frac{2 * \pi * RPM * M}{60} \dots\dots\dots (3)$$

Dónde:

P: Potencia Mecánica, en Watt

M: Par motor en N-m.

Por lo tanto en el presente proyecto de investigación se va a incrementar la relación de compresión de 18.4 a 18.8, y se verá el efecto en el consumo de combustible, que se determina:

$$Qh = \frac{P * b * 1000}{30 * n * z * \rho} \dots\dots\dots (4)$$

Qh: Volumen de inyección mm³/Carrera.

b: Consumo específico de combustible del motor en g/kW-h

n: RPM del motor.

z: Cantidad de cilindros del motor: 4

ρ : Densidad del combustible en g/cm³: 0.80g/cm³

Teniendo éstas ecuaciones, se reemplaza los valores, y se obtiene los siguientes resultados:

Para el caso del aplanado de la culata, la expresión que se establece para determinar cuántos mm se debe rebajar la culata para incrementar la relación de compresión es:

$$X = \frac{S}{Ra - 1} - \frac{S}{Rb - 1} \dots\dots\dots (5)$$

Dónde:

X: Aplanado de culata en mm.

S: Carrera del pistón en mm

Ra: Relación de compresión anterior al aplanado, 18.4

Rb: Relación de compresión después del aplanado. 18.8

Reemplazando valores se tiene:

$$X = \frac{92}{18.4 - 1} - \frac{92}{18.8 - 1} = 5.28 - 5.16 = 0.12mm$$

Ello quiere decir que se debe en factoría cepillar la culata 0.12mm para alcanzar la relación de compresión de 18.8 a 1.

La presión media se obtiene de la ecuación 2, reemplazando valores se tiene:

$$Pe = \frac{M * 4 * \pi}{Vh}$$

$$Pe = \frac{360 * 4 * 3.1416}{2500 * 10^{-6}} = 18.09Bar$$

La presión media se incrementa en la proporción $18.8 / 18.4 = 1.021$ veces, por lo tanto en la misma razón se incrementa el torque, es decir, de 360 N-m a $360 * 1.021 = 367.92$ N-m.

Luego, la potencia del motor a un determinado régimen de velocidad se determina mediante la ecuación 3, es decir:

$$P = \frac{2 * \pi * RPM * M}{60}$$

$$P = \frac{2 * \pi * 1600 * 367}{60} = 61.59kW$$

Por lo tanto si se compara el valor de 59 kW, que es la potencia que registra el motor como potencia instalada de 59kW, es decir que la potencia $61.59 / 59 = 1.044$, es decir el incremento es de 4.4%.

Este incremento de potencia de 4.4%, se analiza con el consumo de combustible, y éste se obtiene de la expresión:

$$Qh = \frac{P * b * 1000}{30 * n * z * \rho}$$

Reemplazando valores se tiene:

Q_h : Volumen de inyección mm³/Carrera.

b : Consumo específico de combustible del motor en g/kW-h

n : RPM del motor: 1600

z : Cantidad de cilindros del motor: 4

ρ : Densidad del combustible en g/cm³: 0.85g/cm³

Reemplazando valores, el volumen de inyección será de 7.95 mm³/carrera, en cada inyector diésel, cuando funciona con una potencia de 59kW, en cambio al rebajar la culata en 0.12 mm, se tiene un consumo de 8.30 mm³/carrera.

3.4. Realizar mediciones de los gases de escape a diferentes regímenes de giro del motor.

Se hizo las mediciones de las emisiones de los gases de escape del motor diesel, para los cuatro vehículos de prueba, a diferentes velocidades de giro del motor, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 13: *Vehículo de Prueba N° 1.*

RPM	Vehículo de Prueba 1		
	CO2 + CO (%)	HC (ppm)	CO (%)
700	9.89	89	0.32
710	9.88	89	0.32
720	9.98	89	0.32
730	9.91	89	0.32
740	10.02	89	0.32
750	10.03	89	0.32
760	9.99	89	0.32
770	10.03	89	0.32
780	10.03	89	0.29
790	10.5	89	0.29
800	10.5	89	0.29
810	10.5	89	0.29
820	10.5	89	0.29
830	10.5	89	0.29
840	10.5	77	0.29
850	10.5	77	0.29
860	10.5	77	0.29
870	10.5	77	0.29
880	10.5	77	0.29
890	10.6	77	0.3
900	10.6	77	0.3
910	10.6	77	0.3
920	10.6	77	0.3
930	10.6	77	0.3
940	10.6	77	0.3
950	10.6	77	0.3
960	10.6	77	0.3
970	10.6	77	0.3
980	10.6	71	0.3

990	10.6	71	0.27
1000	10.6	71	0.27
1010	10.6	71	0.27
1020	10.6	71	0.27
1030	10.6	71	0.27
1040	10.6	71	0.27
1050	10.6	71	0.27
1060	10.6	71	0.27
1070	10.4	71	0.27
1080	10.4	71	0.27
1090	10.4	71	0.27
1100	10.4	71	0.27
1110	10.4	71	0.27
1120	10.4	71	0.27
1130	10.4	71	0.25
1140	10.4	65	0.25
1150	10.4	65	0.25
1160	10.4	65	0.25
1170	10.4	65	0.25
1180	10.7	65	0.25
1190	10.7	65	0.25
1200	10.7	65	0.25
1210	10.7	65	0.25
1220	10.7	65	0.25
1230	10.7	65	0.25
1240	10.7	65	0.26
1250	10.7	65	0.26
1260	10.7	65	0.26
1270	10.7	65	0.26
1280	10.7	65	0.26
1290	10.7	65	0.26
1300	10.7	65	0.26

1310	10.7	61	0.26
1320	10.7	61	0.26
1330	10.7	61	0.26
1340	10.7	61	0.23
1350	10.7	61	0.23
1360	10.7	61	0.23
1370	10.75	61	0.23
1380	10.75	61	0.23
1390	10.75	61	0.23
1400	10.75	61	0.23
1410	10.75	61	0.23
1420	10.75	61	0.23
1430	10.75	61	0.23
1440	10.75	61	0.23
1450	10.75	61	0.23
1460	10.75	61	0.24
1470	10.75	54	0.24
1480	10.75	54	0.24
1490	10.75	54	0.24
1500	10.75	54	0.24
1510	10.75	54	0.24
1520	10.75	54	0.24
1530	10.75	54	0.24
1540	10.75	54	0.21
1550	10.75	54	0.21
1560	10.75	54	0.21
1570	10.75	51	0.21
1580	10.75	51	0.21
1590	10.93	51	0.21
1600	10.93	51	0.21
1610	10.93	51	0.21
1620	10.93	51	0.21

1630	10.93	51	0.21
1640	10.93	51	0.21
1650	10.93	51	0.21
1660	10.93	51	0.21
1670	10.93	51	0.21
1680	10.93	51	0.21
1690	10.93	51	0.21
1700	10.93	51	0.21
1710	10.93	51	0.21
1720	10.93	51	0.21
1730	10.93	51	0.21
1740	10.93	43	0.21
1750	10.93	43	0.21
1760	10.93	43	0.21
1770	10.93	43	0.21
1780	10.93	43	0.21
1790	10.93	43	0.21
1800	10.93	43	0.21
1810	11.02	43	0.21
1820	11.02	43	0.21
1830	11.02	43	0.21
1840	11.02	43	0.21
1850	11.02	43	0.21
1860	11.02	41	0.21
1870	11.02	41	0.21
1880	11.02	41	0.21
1890	11.02	41	0.21
1900	11.02	41	0.21
1910	11.02	41	0.21
1920	11.02	41	0.21
1930	11.02	41	0.21
1940	11.02	41	0.21

1950	11.02	41	0.21
1960	11.02	41	0.19
1970	11.33	39	0.19
1980	11.33	39	0.19
1990	11.33	39	0.19
2000	11.33	39	0.19
2010	11.33	39	0.19
2020	11.33	39	0.19
2030	11.33	39	0.19
2040	11.33	39	0.19
2050	11.33	39	0.19
2060	11.33	39	0.19
2070	11.33	39	0.19
2080	11.45	39	0.19
2090	11.45	39	0.19
2100	11.45	36	0.19
2110	11.45	36	0.19
2120	11.45	36	0.19
2130	11.45	36	0.19
2140	11.45	36	0.19
2150	11.45	36	0.19
2160	11.45	36	0.19
2170	11.45	36	0.19
2180	12.22	36	0.19
2190	12.22	36	0.19
2200	12.22	36	0.19
2210	12.22	36	0.19
2220	12.22	36	0.19
2230	12.22	36	0.19
2240	12.22	36	0.19
2250	12.22	36	0.19
2260	12.22	36	0.15

2270	12.22	36	0.15
2280	12.22	36	0.15
2290	12.22	36	0.15
2300	12.22	36	0.15
2310	12.22	36	0.15
2320	12.22	36	0.15
2330	12.32	34	0.15
2340	12.32	34	0.15
2350	12.32	34	0.15
2360	12.32	34	0.15
2370	12.32	34	0.145
2380	12.32	34	0.145
2390	12.32	34	0.145
2400	12.32	34	0.145
2410	12.32	34	0.145
2420	12.32	34	0.145
2430	12.32	34	0.145
2440	12.32	34	0.145
2450	12.56	34	0.145
2460	12.56	33	0.145
2470	12.56	33	0.145
2480	12.56	33	0.141
2490	12.56	33	0.141
2500	12.56	33	0.141

Fuente: Elaboración propia

Con la información de las mediciones, se realiza el gráfico de la variación de los valores de las emisiones de cada tipo de gas en función a la velocidad de giro del motor. La prueba se hizo variando ligeramente la velocidad del motor cada 10 RPM.

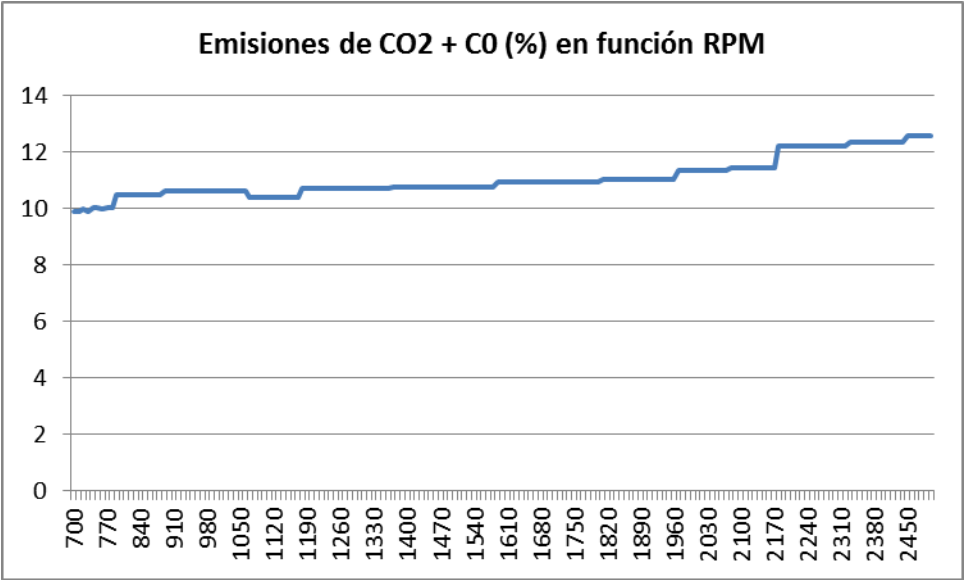


Figura 31: Emisiones de co₂+co (%) en función de las rpm del vehículo de Prueba N°1

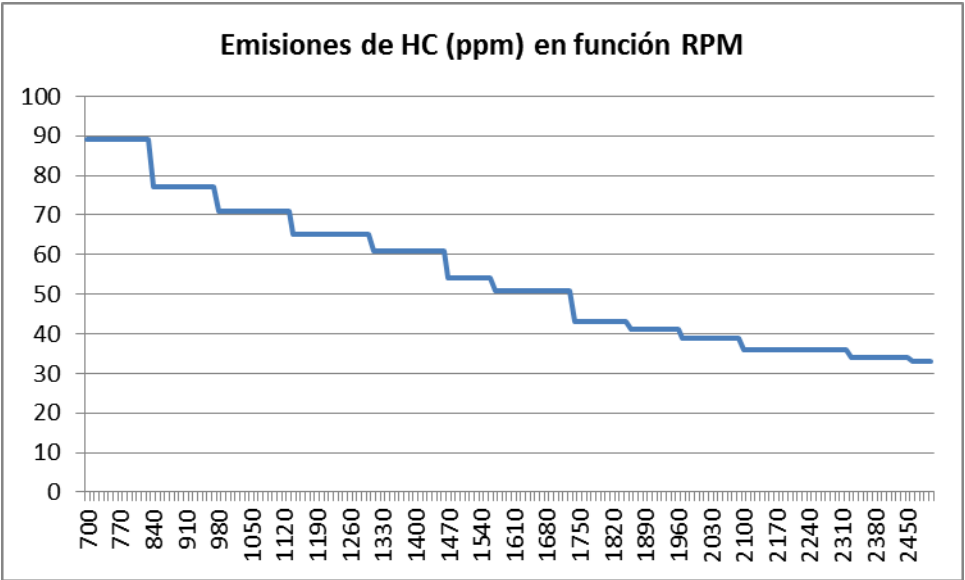


Figura 32: Emisiones de HC (ppm) en función rpm del vehículo de Prueba N° 1

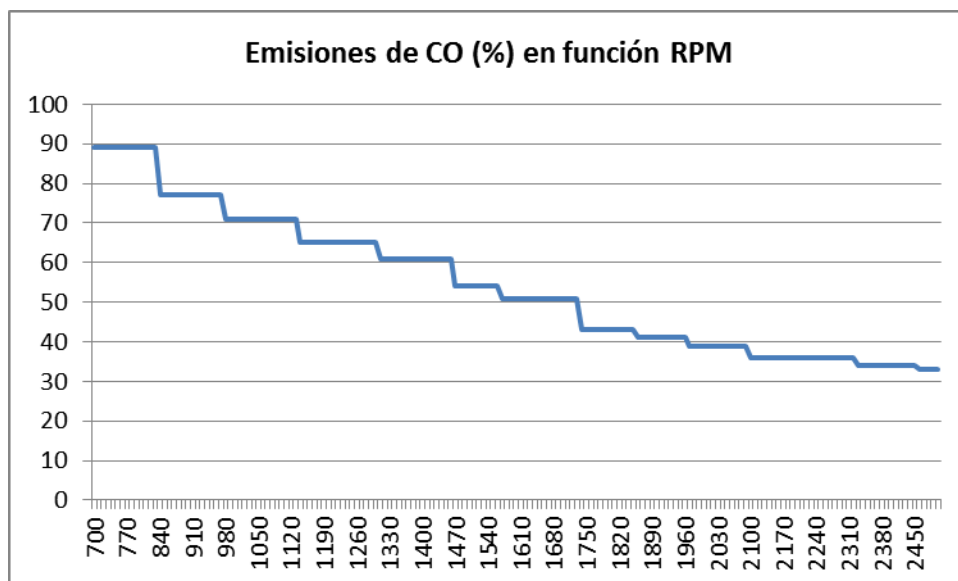


Figura 33: emisiones de co (%) en funcion de las rpm del vehículo de Prueba N° 1

Tabla 14: Vehículo de Prueba N°2

RPM	Vehículo de Prueba 2		
	CO2 + C0 (%)	HC (ppm)	C0 (%)
700	9.78	93	0.35
710	9.78	93	0.35
720	9.78	93	0.35
730	9.78	93	0.35
740	9.78	93	0.35
750	9.88	93	0.35
760	9.88	93	0.35
770	9.88	93	0.35
780	9.88	93	0.32
790	9.88	93	0.32
800	9.88	93	0.32
810	9.88	93	0.32
820	9.88	93	0.32
830	9.88	93	0.32
840	9.88	81	0.32
850	9.88	81	0.32
860	9.88	81	0.32
870	9.88	81	0.32
880	9.88	81	0.32
890	9.88	81	0.29
900	9.88	81	0.29
910	9.88	81	0.29
920	10.03	81	0.29
930	10.03	81	0.29

940	10.03	81	0.29
950	10.03	81	0.29
960	10.03	81	0.29
970	10.03	81	0.29
980	10.03	75	0.29
990	10.03	75	0.26
1000	10.03	75	0.26
1010	10.03	75	0.26
1020	10.03	75	0.26
1030	10.03	75	0.26
1040	10.03	75	0.26
1050	10.03	75	0.26
1060	10.03	75	0.26
1070	10.03	75	0.26
1080	10.03	75	0.26
1090	10.03	75	0.26
1100	10.03	75	0.24
1110	10.03	75	0.24
1120	10.07	75	0.24
1130	10.07	75	0.22
1140	10.07	69	0.22
1150	10.07	69	0.22
1160	10.07	69	0.22
1170	10.07	69	0.22
1180	10.07	69	0.22
1190	10.07	69	0.22
1200	10.07	69	0.22
1210	10.07	69	0.22
1220	10.07	69	0.22
1230	10.07	69	0.22
1240	10.07	69	0.23
1250	10.07	69	0.23
1260	10.07	69	0.23
1270	10.07	69	0.23
1280	10.07	69	0.23
1290	10.07	69	0.23
1300	10.07	69	0.21
1310	10.07	65	0.21
1320	10.07	65	0.21
1330	10.07	65	0.21
1340	10.11	65	0.18
1350	10.11	65	0.18
1360	10.11	65	0.18
1370	10.11	65	0.18

1380	10.11	65	0.18
1390	10.11	65	0.18
1400	10.11	65	0.18
1410	10.11	65	0.18
1420	10.11	65	0.18
1430	10.11	65	0.18
1440	10.11	65	0.18
1450	10.11	65	0.18
1460	10.11	65	0.19
1470	10.11	58	0.19
1480	10.11	58	0.19
1490	10.11	58	0.19
1500	10.11	58	0.19
1510	10.11	58	0.19
1520	10.11	58	0.19
1530	10.11	58	0.19
1540	10.11	58	0.17
1550	10.11	58	0.17
1560	10.11	58	0.17
1570	10.11	55	0.17
1580	10.11	55	0.17
1590	10.11	55	0.17
1600	10.11	55	0.17
1610	10.11	55	0.14
1620	10.11	55	0.14
1630	10.11	55	0.14
1640	10.11	55	0.14
1650	10.11	55	0.14
1660	10.11	55	0.14
1670	10.11	55	0.14
1680	10.11	55	0.14
1690	10.11	55	0.14
1700	10.11	55	0.14
1710	10.11	55	0.14
1720	10.11	55	0.14
1730	10.11	55	0.14
1740	10.11	47	0.14
1750	10.11	47	0.14
1760	10.11	47	0.14
1770	10.11	47	0.14
1780	10.11	47	0.14
1790	10.11	47	0.14
1800	10.11	47	0.14
1810	10.11	47	0.14

1820	10.11	47	0.14
1830	10.11	47	0.14
1840	10.11	47	0.14
1850	10.11	47	0.14
1860	10.11	45	0.14
1870	10.11	45	0.14
1880	10.11	45	0.14
1890	10.11	45	0.14
1900	10.11	45	0.14
1910	10.44	45	0.14
1920	10.44	45	0.14
1930	10.44	45	0.14
1940	10.44	45	0.14
1950	10.44	45	0.14
1960	10.44	45	0.12
1970	10.44	43	0.12
1980	10.44	43	0.12
1990	10.44	43	0.12
2000	10.44	43	0.12
2010	10.44	43	0.12
2020	10.44	43	0.12
2030	10.44	43	0.12
2040	10.44	43	0.12
2050	10.44	43	0.12
2060	10.44	43	0.12
2070	10.44	43	0.12
2080	10.44	43	0.12
2090	10.44	43	0.12
2100	10.44	40	0.12
2110	10.44	40	0.12
2120	10.99	40	0.12
2130	10.99	40	0.12
2140	10.99	40	0.12
2150	10.99	40	0.12
2160	10.99	40	0.12
2170	10.99	40	0.12
2180	10.99	40	0.12
2190	10.99	40	0.12
2200	10.99	40	0.12
2210	11.44	40	0.12
2220	11.44	40	0.12
2230	11.44	40	0.12
2240	11.44	40	0.12
2250	11.44	40	0.12

2260	11.44	40	0.10
2270	11.44	40	0.10
2280	12.11	40	0.10
2290	12.11	40	0.10
2300	12.11	40	0.10
2310	12.11	40	0.10
2320	12.11	40	0.10
2330	12.11	38	0.10
2340	12.11	38	0.10
2350	12.11	38	0.10
2360	12.11	38	0.10
2370	12.11	38	0.09
2380	12.11	38	0.09
2390	12.11	38	0.09
2400	12.33	38	0.09
2410	12.33	38	0.09
2420	12.33	38	0.09
2430	12.33	38	0.09
2440	12.33	38	0.09
2450	12.33	38	0.09
2460	12.33	37	0.09
2470	12.33	37	0.09
2480	12.33	37	0.09
2490	12.33	37	0.09
2500	12.33	37	0.09

Fuente: Elaboración propia

Con la información de las mediciones, se realiza el gráfico de la variación de los valores de las emisiones de cada tipo de gas en función a la velocidad de giro del motor. La prueba se hizo variando ligeramente la velocidad del motor cada 10 RPM.

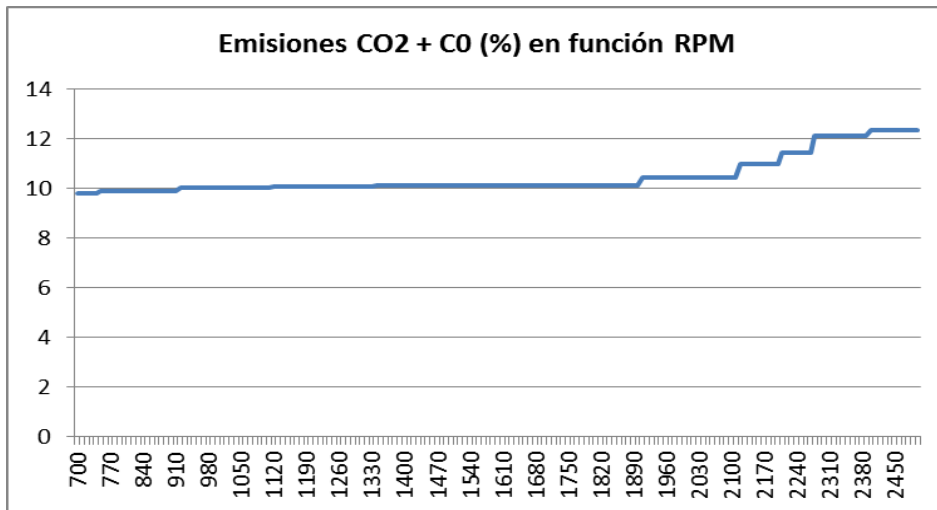


Figura 34: Emisiones de co2+co (%) en función de las rpm del vehículo de Prueba N°2

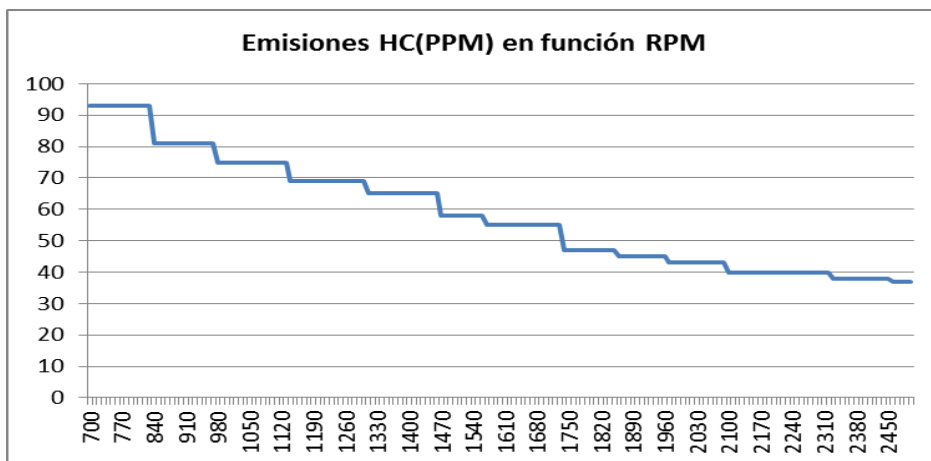


Figura 35: Emisiones de HC (ppm) en función rpm del vehículo de Prueba N° 2

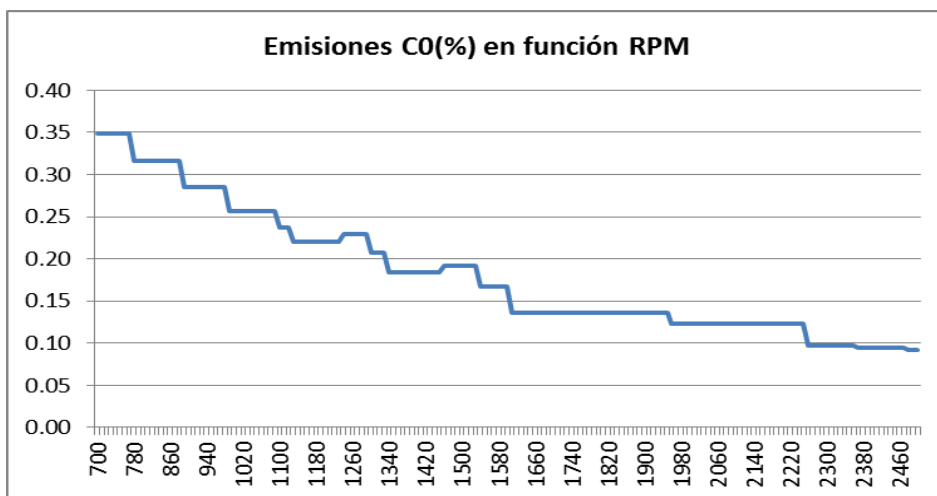


Figura 36: emisiones de co (%) en funcion de las rpm del vehículo de Prueba N° 2

Tabla 15: *Vehículo de Prueba N° 3*

RPM	Vehículo de Prueba 3		
	CO2 + C0 (%)	HC (ppm)	C0 (%)
700	9.56	82	0.38
710	9.56	82	0.38
720	9.56	82	0.38
730	9.56	82	0.38
740	9.56	82	0.38
750	9.56	82	0.38
760	9.56	82	0.38
770	9.56	82	0.38
780	9.56	82	0.34
790	9.56	82	0.34
800	9.56	82	0.34
810	9.56	82	0.34
820	9.56	82	0.34
830	9.65	82	0.34
840	9.65	70	0.34
850	9.65	70	0.34
860	9.65	70	0.34
870	9.65	70	0.34
880	9.65	70	0.34
890	9.65	70	0.27
900	9.65	70	0.27
910	9.65	70	0.27
920	9.65	70	0.27
930	9.65	70	0.27
940	9.65	70	0.27
950	9.65	70	0.27
960	9.65	70	0.27
970	9.65	70	0.27

980	9.98	64	0.27
990	9.98	64	0.24
1000	9.98	64	0.24
1010	9.98	64	0.24
1020	9.98	64	0.24
1030	9.98	68	0.24
1040	9.98	68	0.24
1050	9.98	68	0.23
1060	9.98	68	0.23
1070	9.98	68	0.23
1080	9.98	68	0.23
1090	9.98	68	0.23
1100	9.98	68	0.22
1110	9.98	68	0.22
1120	9.98	68	0.22
1130	9.98	68	0.20
1140	9.98	62	0.20
1150	9.98	62	0.20
1160	9.98	62	0.20
1170	9.98	62	0.20
1180	9.98	62	0.20
1190	9.98	62	0.20
1200	9.98	62	0.20
1210	9.98	62	0.20
1220	9.98	62	0.20
1230	9.98	62	0.20
1240	9.98	62	0.21
1250	9.98	62	0.21
1260	9.98	62	0.21
1270	9.98	62	0.21
1280	9.98	62	0.21
1290	9.98	62	0.21

1300	9.98	62	0.19
1310	9.98	58	0.19
1320	9.98	58	0.19
1330	9.98	58	0.17
1340	9.98	58	0.15
1350	9.98	58	0.15
1360	9.98	58	0.15
1370	9.98	58	0.15
1380	9.98	58	0.15
1390	9.98	58	0.15
1400	10.33	58	0.15
1410	10.33	58	0.15
1420	10.33	58	0.15
1430	10.33	58	0.15
1440	10.33	58	0.15
1450	10.33	58	0.15
1460	10.33	58	0.16
1470	10.33	51	0.16
1480	10.33	51	0.16
1490	10.33	51	0.16
1500	10.33	51	0.16
1510	10.33	51	0.16
1520	10.33	51	0.16
1530	10.33	51	0.16
1540	10.33	51	0.14
1550	10.33	51	0.14
1560	10.33	51	0.14
1570	10.33	48	0.14
1580	10.33	48	0.14
1590	10.33	48	0.14
1600	10.33	48	0.14
1610	10.33	48	0.11

1620	10.33	48	0.11
1630	10.33	48	0.11
1640	10.33	48	0.11
1650	10.33	48	0.11
1660	10.45	48	0.11
1670	10.45	48	0.11
1680	10.45	48	0.11
1690	10.45	48	0.11
1700	10.45	48	0.11
1710	10.45	48	0.11
1720	10.45	48	0.11
1730	10.45	48	0.11
1740	10.45	40	0.11
1750	10.45	40	0.11
1760	10.45	40	0.11
1770	10.45	40	0.11
1780	10.45	40	0.11
1790	10.45	40	0.11
1800	10.45	40	0.11
1810	10.45	40	0.11
1820	10.45	40	0.11
1830	10.45	40	0.11
1840	10.45	40	0.11
1850	10.45	40	0.11
1860	10.45	38	0.11
1870	10.45	38	0.11
1880	10.45	38	0.11
1890	10.45	38	0.11
1900	10.45	38	0.11
1910	10.69	38	0.11
1920	10.69	38	0.11
1930	10.69	38	0.11

1940	10.69	38	0.11
1950	10.69	38	0.11
1960	10.69	38	0.10
1970	10.69	36	0.10
1980	10.69	36	0.10
1990	10.69	36	0.10
2000	10.69	36	0.10
2010	10.69	36	0.10
2020	10.69	36	0.10
2030	10.74	36	0.10
2040	10.74	36	0.10
2050	10.74	36	0.10
2060	10.74	36	0.10
2070	10.74	36	0.10
2080	10.74	36	0.10
2090	10.74	36	0.10
2100	10.74	33	0.10
2110	10.74	33	0.10
2120	10.74	33	0.10
2130	10.74	33	0.10
2140	10.74	33	0.10
2150	10.74	33	0.10
2160	10.74	33	0.10
2170	10.74	33	0.10
2180	10.74	33	0.10
2190	10.74	33	0.10
2200	10.74	33	0.10
2210	10.74	33	0.10
2220	10.74	33	0.10
2230	10.74	33	0.10
2240	10.74	33	0.10
2250	11.49	33	0.10

2260	11.49	33	0.08
2270	11.49	33	0.08
2280	11.49	33	0.08
2290	11.49	33	0.08
2300	11.49	33	0.08
2310	11.49	33	0.08
2320	11.49	33	0.08
2330	11.49	31	0.08
2340	11.49	31	0.08
2350	11.49	31	0.08
2360	11.49	31	0.08
2370	11.49	31	0.08
2380	11.49	31	0.08
2390	11.49	31	0.08
2400	11.49	31	0.08
2410	11.49	31	0.08
2420	11.49	31	0.08
2430	11.49	31	0.08
2440	11.49	31	0.08
2450	11.49	31	0.08
2460	11.49	30	0.08
2470	11.49	30	0.08
2480	11.49	30	0.07
2490	11.49	30	0.07
2500	11.49	30	0.06

Fuente: Elaboración propia

Con la información de las mediciones, se realiza el gráfico de la variación de los valores de las emisiones de cada tipo de gas en función a la velocidad de giro del motor. La prueba se hizo variando ligeramente la velocidad del motor cada 10 RPM.

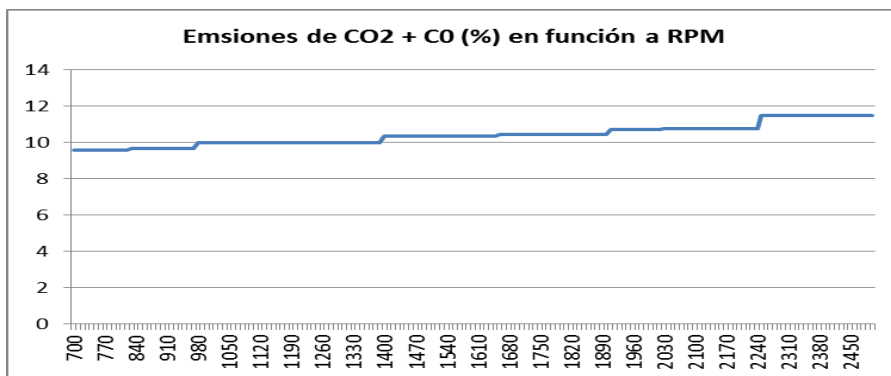


Figura 37: Emisiones de co₂+co (%) en función de las rpm del vehículo de Prueba N°3

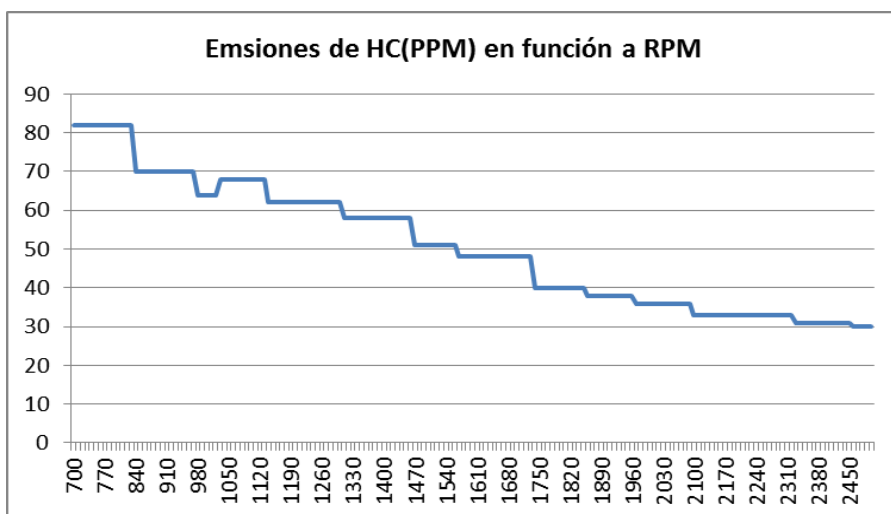


Figura 38: Emisiones de HC (ppm) en función RPM del vehículo de Prueba N° 3

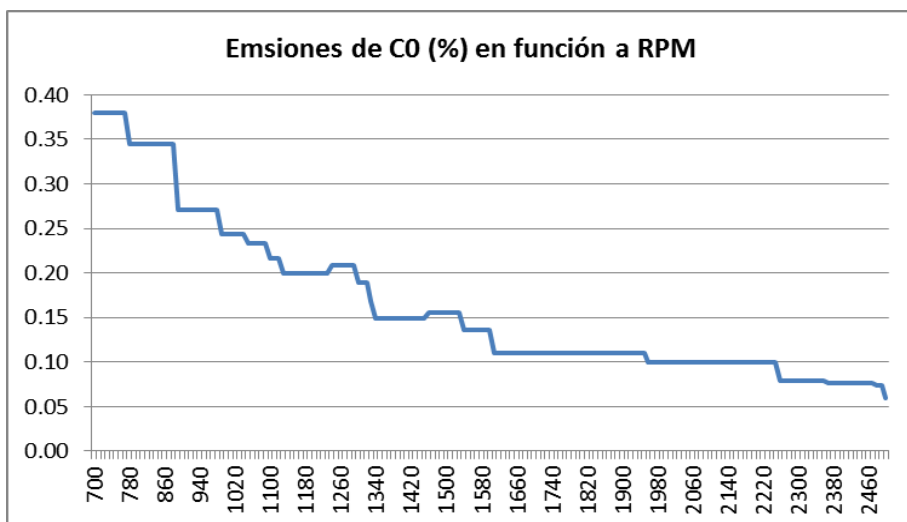


Figura 39: Emisiones de co (%) en funcion de las rpm del vehículo de Prueba N° 3

Tabla 16: *Vehículo de prueba N° 4.*

RPM	Vehículo de Prueba 4		
	CO2 + C0 (%)	HC (ppm)	C0 (%)
700	10.03	85.6	0.41
710	10.03	85.6	0.41
720	10.03	85.6	0.41
730	10.03	85.6	0.41
740	10.03	85.6	0.41
750	10.03	85.6	0.41
760	10.03	85.6	0.41
770	10.03	85.6	0.41
780	10.03	85.6	0.37
790	10.03	85.6	0.37
800	10.03	85.6	0.37
810	10.03	85.6	0.37
820	10.03	85.6	0.37
830	10.11	85.6	0.37
840	10.11	73.6	0.37
850	10.11	73.6	0.37
860	10.11	73.6	0.37
870	10.11	73.6	0.37
880	10.11	73.6	0.37
890	10.11	73.6	0.30
900	10.11	73.6	0.30
910	10.11	73.6	0.30
920	10.11	73.6	0.30
930	10.11	73.6	0.30
940	10.11	73.6	0.30
950	10.11	73.6	0.30
960	10.11	73.6	0.30
970	10.11	73.6	0.30
980	10.11	67.6	0.30

990	10.11	67.6	0.27
1000	10.11	67.6	0.27
1010	10.11	67.6	0.27
1020	10.11	67.6	0.27
1030	10.11	71.6	0.27
1040	10.11	71.6	0.27
1050	10.11	71.6	0.26
1060	10.11	71.6	0.26
1070	10.11	71.6	0.26
1080	10.11	71.6	0.26
1090	10.11	71.6	0.26
1100	10.11	71.6	0.26
1110	10.11	71.6	0.26
1120	10.11	71.6	0.26
1130	10.11	71.6	0.24
1140	10.11	65.6	0.24
1150	10.11	65.6	0.24
1160	10.11	65.6	0.24
1170	10.33	65.6	0.24
1180	10.33	65.6	0.24
1190	10.33	65.6	0.24
1200	10.33	65.6	0.24
1210	10.33	65.6	0.24
1220	10.33	65.6	0.24
1230	10.33	65.6	0.24
1240	10.33	65.6	0.25
1250	10.33	65.6	0.25
1260	10.33	65.6	0.25
1270	10.33	65.6	0.25
1280	10.33	65.6	0.25
1290	10.33	65.6	0.25
1300	10.33	65.6	0.23

1310	10.33	61.6	0.23
1320	10.33	61.6	0.23
1330	10.33	61.6	0.21
1340	10.33	61.6	0.19
	10.33	61.6	0.19
1360	10.45	61.6	0.19
1370	10.45	61.6	0.19
1380	10.45	61.6	0.19
1390	10.45	61.6	0.19
1400	10.45	61.6	0.19
1410	10.45	61.6	0.19
1420	10.45	61.6	0.19
1430	10.45	61.6	0.19
1440	10.45	61.6	0.19
1450	10.45	61.6	0.19
1460	10.45	61.6	0.20
1470	10.45	54.6	0.20
1480	10.45	54.6	0.20
1490	10.45	54.6	0.20
1500	10.45	54.6	0.20
1510	10.45	54.6	0.20
1520	10.45	54.6	0.20
1530	10.45	54.6	0.20
1540	10.45	54.6	0.18
1550	10.45	54.6	0.18
1560	10.45	54.6	0.18
1570	10.45	51.6	0.18
1580	10.45	51.6	0.18
1590	10.45	51.6	0.18
1600	10.45	51.6	0.18
1610	10.45	51.6	0.15
1620	10.45	51.6	0.15

1630	10.45	51.6	0.15
1640	10.45	51.6	0.15
1650	10.45	51.6	0.15
1660	10.45	51.6	0.15
1670	10.45	51.6	0.15
1680	10.45	51.6	0.15
1690	10.45	51.6	0.15
1700	10.45	51.6	0.15
1710	10.45	51.6	0.15
1720	10.45	51.6	0.15
1730	10.45	51.6	0.15
1740	10.45	43.6	0.15
1750	10.45	43.6	0.15
1760	10.45	43.6	0.15
1770	10.45	43.6	0.15
1780	10.45	43.6	0.15
1790	10.54	43.6	0.15
1800	10.54	43.6	0.15
1810	10.54	43.6	0.15
1820	10.54	43.6	0.15
1830	10.54	43.6	0.15
1840	10.54	43.6	0.15
1850	10.54	43.6	0.15
1860	10.54	41.6	0.15
1870	10.54	41.6	0.15
1880	10.54	41.6	0.15
1890	10.54	41.6	0.15
1900	10.54	41.6	0.15
1910	10.54	41.6	0.15
1920	10.54	41.6	0.15
1930	11.11	41.6	0.15
1940	11.11	41.6	0.15

1950	11.11	41.6	0.15
1960	11.11	41.6	0.14
1970	11.11	39.6	0.14
1980	11.11	39.6	0.14
1990	11.11	39.6	0.14
2000	11.11	39.6	0.14
2010	11.11	39.6	0.14
2020	11.11	39.6	0.14
2030	11.11	39.6	0.14
2040	11.11	39.6	0.14
2050	11.11	39.6	0.14
2060	11.11	39.6	0.14
2070	11.11	39.6	0.14
2080	11.11	39.6	0.14
2090	11.11	39.6	0.14
2100	11.11	36.6	0.14
2110	11.11	36.6	0.14
2120	11.45	36.6	0.14
2130	11.45	36.6	0.14
2140	11.45	36.6	0.14
2150	11.45	36.6	0.14
2160	11.45	36.6	0.14
2170	11.45	36.6	0.14
2180	11.45	36.6	0.14
2190	12.22	36.6	0.14
2200	12.22	36.6	0.14
2210	12.22	36.6	0.14
2220	12.22	36.6	0.14
2230	12.22	36.6	0.14
2240	12.22	36.6	0.14
2250	12.22	36.6	0.14
2260	12.56	36.6	0.12

2270	12.56	36.6	0.12
2280	12.56	36.6	0.12
2290	12.56	36.6	0.12
2300	12.56	36.6	0.12
2310	12.56	36.6	0.12
2320	13.11	36.6	0.12
2330	13.11	34.6	0.12
2340	13.11	34.6	0.12
2350	13.11	34.6	0.12
2360	13.11	34.6	0.12
2370	13.11	34.6	0.12
2380	13.11	34.6	0.12
2390	13.11	34.6	0.12
2400	13.11	34.6	0.12
2410	13.11	34.6	0.12
2420	13.11	34.6	0.12
2430	13.11	34.6	0.12
2440	13.11	34.6	0.12
2450	13.11	34.6	0.12
2460	13.11	33.6	0.12
2470	13.11	33.6	0.12
2480	13.11	33.6	0.11
2490	13.11	33.6	0.11
2500	13.11	33.6	0.10

Fuente: Elaboración propia

Con la información de las mediciones, se realiza el gráfico de la variación de los valores de las emisiones de cada tipo de gas en función a la velocidad de giro del motor. La prueba se hizo variando ligeramente la velocidad del motor cada 10 RPM.

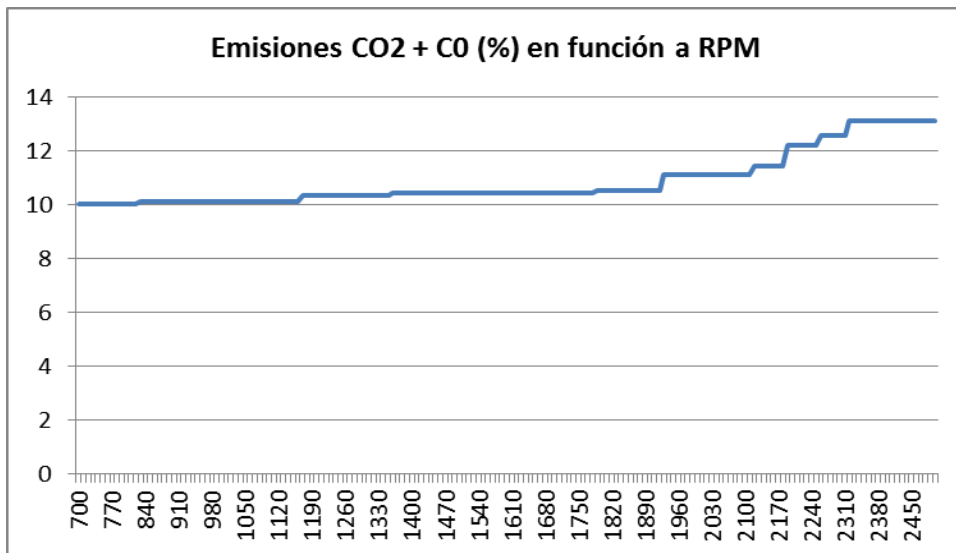


Figura 40: Emisiones de co2+co % en función de las rpm del vehículo de Prueba N°4

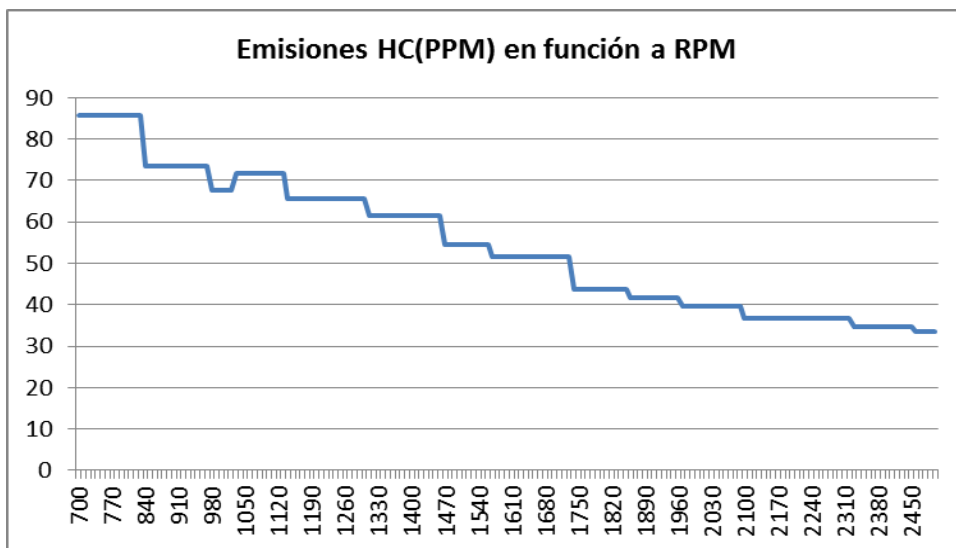


Figura 41: Emisiones de HC (ppm) en función rpm del vehículo de Prueba N° 4

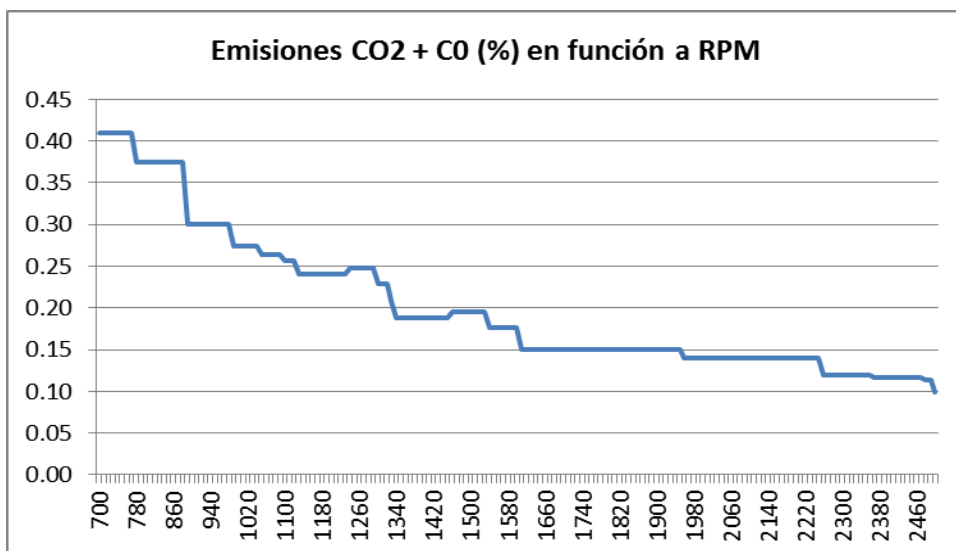


Figura 42: Emisiones de co (%) en funcion de las rpm del vehículo de Prueba N° 4

IV. DISCUSIÓN

El trabajo de investigación, analiza térmica y económicamente el motor diésel para optimizar el consumo de combustible, en el cual se puede discutir lo siguiente:

- a) En cuanto a los niveles térmicos, es de suma importancia los parámetros de funcionamiento en cuánto a las relaciones de compresiones, que en realidad se basan en el ciclo termodinámico diésel, en donde al incrementa la relación de compresión por medio del aplanado de la culata, se consigue mayores potencias, pero también mayores consumos de combustible.
- b) El aplanado de culata, en realidad optimiza el consumo de combustible, porque incrementa el torque o par motor, y esto conlleva a que se pueda incrementar la carga útil del vehículo con un poco de incremento de combustible; ésta situación es válida cuando la unidad vehicular diésel trabaja con cargas elevadas.
- c) Los consumos específicos de éstas unidades vehiculares oscilan alrededor de 45 Km/galón, a condiciones normales de operación, sin embargo si se pretende incrementar el torque aplanando la culata en 0.12mm, entonces el consumo de combustible se incrementa de 7.95 a 8.30 mm³/carrera, es decir un incremento de 4,4%, es decir que el consumo específico tendrá un valor de 43.10 Km/Galón, que en realidad incrementa el consumo, pero favorece al incrementar el par motor para llevar más carga útil.
- d) Al incrementar la carga útil, la unidad vehicular, tendrá mayores prestaciones debido a que puede llevar mas carga y por ende los ingresos económicos se incrementan, así como también la unidad tendrá la predisposición para realizar diferentes labores no sólo de transporte de pasajeros sino de carga ligera.

V. CONCLUSIONES

- 5.1. Se realizó las pruebas a los vehículos que utilizan al biodiesel como combustible, bajo un protocolo de pruebas previamente establecido, en el cual se determinó que el consumo específico promedio es de 45 Km/galón, y que la presión de compresión promedio es de 406 PSI. Estos valores entre los tres vehículos de prueba, tienen poca variación, en promedio una dispersión del 3%.
- 5.2. Se estableció mediante las ecuaciones de la primera y segunda ley de la termodinámica, el balance exergético en el motor diésel, en donde se pudo ver las pérdidas que presenta y las irreversibilidades.
- 5.3. Se realizó una propuesta de modificación en cuanto al incremento de la relación de compresión para incrementar el par motor en el cigüeñal, para ello se planteó aplanar la culata, y se determinó que el valor de aplanar fue de 0,12mm, el cual hace posible incrementar la presión de compresión en el cilindro desde una relación 18.4 a 18.8, esto conlleva a un incremento de, 4.4% de combustible
- 5.4. Se hizo las mediciones de las emisiones de los gases de escape a diferentes regímenes de velocidad, observando la variación de dichas emisiones, que están dentro de lo estipulado por el reglamento de límites máximos permisibles.

VI. RECOMENDACIONES

- 6.1.** Se recomienda realizar otros cambios significativos en el motor que conlleven a incrementar parámetros de acuerdo al tipo de trabajo que realiza la unidad, por decir incrementar las rpm, o modificar la biela del pistón para modificar la velocidad.
- 6.2.** Cuando se haga las pruebas es necesario que el motor alcance su temperatura normal de funcionamiento, debido a que si se realiza con el motor frío, los parámetros no serán los correctos.
- 6.3.** También se recomienda realizar mediciones eléctricas a los sensores y actuadores del sistema de inyección diésel electrónica, para determinar el tiempo de inyección de los inyectores y de esa manera mediante mediciones indirectas se puede calcular los consumos de combustible en función a la potencia y el par motor.

REFERENCIAS

AGENCIA NACIONAL DEL PETROLEO. Consumo de combustible en Brasil en el año 2012. Brasil, 2013, 56pp.

ARIMARY. Renovación del Parque Automotriz Peruano. Perú, 2014, 65pp.

BOSCH. Inyección electrónica a gasolina. Brasil, 2013, 45pp.

CABALLERO. Implementación y montaje de un banco de pruebas de inyección electrónica para el taller de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH mediante la utilización de un motor Chevrolet AVEO de combustión interna a gasolina, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2014, 124pp.

CAMPOVERDE. Determinación de la eficiencia de un motor ciclo Otto de inyección electrónica respecto de la temperatura y presión de inyección del combustible”, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2016, 101pp.

CARROYA. Innovaciones en el sector automotriz colombiano. Colombia, 2013, 98pp.

FUENTES. Dependencia del consumo de gasolina, Argentina, 2016, 78pp.

GIRÓ. Modelización y Simulación de un Sistema de Control para Ensayos de Motores de Combustión Interna”, Universidad Nacional De La Plata, Argentina. 2005, 99pp.

GONZALES. Combustión Directa de gasolina, Perú, 2015, 89pp.

HERNÁNDEZ. Diseño e Implementación de una Unidad Electrónica para Controlar el Desempeño de un Motor de Combustión Interna, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2011, 134pp.

JEFFERSON. Consumo Específico de Combustible, Argentina, s.f, 99pp.

MEDINA. Perspectivas del uso de la gasolina en América Latina, México, 2012, 76pp.

ONG Transport & Environment. Informe de evaluación de consumos energéticos en unidades vehiculares. España, 2016, 127pp.

OSINERGMIN. Anuario de estadísticas energéticas del 2013, Lima – Perú, 2013, 145pp.

RUIZ. Motores de combustión a gasolina, Perú, 2012, 89pp.

SANCHEZ. El dominio del combustible en las actividades humanas. México 2014, 123pp.

URRUTIA. Sistema Motor-Inversor “Sensorless” Para El Arranque De Vehículo Híbrido “PLUG-IN”, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE. 2001, 89pp.

ANEXOS



GUÍA DE OBSERVACIÓN

TESIS : “ANÁLISIS TERMOECONÓMICO PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN UN MOTOR DIÉSEL EN LA CIUDAD DE CHICLAYO

TESISTA : SOTO CHICOMA LUIS ALBERTO

ASESOR : CELADA PADILLA JAMES SKINNER

FECHA : SETIEMBRE 2019

LUGAR : CHICLAYO.

Unidad Vehicular :

Marca :

Modelo :

		Resistencia Eléctrica del sensor (Ohmios)	Periodo (Milisegundos)	Frecuencia Eléctrica (Hertz)	Tensión en Ralenti (Voltios)	Tensión a media carga (Voltios)	Tensión a Máxima carga (Voltios)	Forma de la señal
Sensor RPM	PrimeraMedición							
	SegundaMedición							
	Tercera Medición							
Sensor MAF	PrimeraMedición							
	SegundaMedición							
	Tercera Medición							
Sensor de Temperatura	PrimeraMedición							
	SegundaMedición							
	Tercera Medición							
Actuador: Inyector	PrimeraMedición							
	SegundaMedición							
	Tercera Medición							